

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE**  
**SISTEMAS**



**TESIS**

“EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA CON  
RADIOENLACES EN EL PROCESO DE ABASTECIMIENTO DE  
AGUA POTABLE EN LA COMUNIDAD DE PILANCONES-  
HUALGAYOC”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
DE SISTEMAS**

**AUTOR**

Bach. WILMER GARCÍA LÓPEZ

**ASESOR**

Dr. Ing. MANUEL ENRIQUE MALPICA RODRÍGUEZ

CAJAMARCA – PERÚ

2025

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** Wilmer García López  
**DNI:** 48425909  
**Escuela Profesional:** Ingeniería de Sistemas
- Asesor:** Ing. Manuel Enrique Malpica Rodríguez  
**Facultad:** Ingeniería
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**  
Efecto de la implementación de un sistema SCADA con radioenlaces en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones-Hualgayoc
- Fecha de evaluación:** 08 de mayo de 2025
- Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 13%
- Código Documento:** :3117:456974963
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO    PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 09 de mayo de 2025



**FIRMA DEL ASESOR**

Ing. Manuel Enrique Malpica Rodríguez  
**DNI:** 26707158

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



-----  
**Dra. Ing. Laura Sojta-Bazán Díaz**  
DIRECTORA

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.**

TITULO : EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA CON RADIOENLACES EN EL PROCESO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA COMUNIDAD DE PILANCONES – HUALGAYOC.

ASESOR : Dr. Ing. Manuel Enrique Malpica Rodríguez.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0209-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 15 de mayo de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintitrés días del mes de mayo de 2025**, siendo las once horas (11:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 4K) de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

- Presidente : Dr. Ing. Carlos Jesús Koo Labrín.
Vocal : Dr. Ing. Edwin Alberto Valencia Castillo.
Secretario : M.Cs. Ing. Néstor Elías Muñoz Abanto.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada: EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA CON RADIOENLACES EN EL PROCESO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA COMUNIDAD DE PILANCONES - HUALGAYOC, presentado por el Bachiller en Ingeniería de Sistemas WILMER GARCÍA LÓPEZ, asesorado por el Dr. Ing. Manuel Enrique Malpica Rodríguez, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 07 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 09 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 16 PTS. Dieciseis (En letras)

En consecuencia, se lo declara con el calificativo de acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

[Signature of Dr. Ing. Carlos Jesús Koo Labrín]

Dr. Ing. Carlos Jesús Koo Labrín.
Presidente

[Signature of Dr. Ing. Edwin Alberto Valencia Castillo]

Dr. Ing. Edwin Alberto Valencia Castillo.
Vocal

[Signature of M.Cs. Ing. Néstor Elías Muñoz Abanto]

M.Cs. Ing. Néstor Elías Muñoz Abanto.
Secretario

[Signature of Dr. Ing. Manuel Enrique Malpica Rodríguez]

Dr. Ing. Manuel Enrique Malpica Rodríguez.
Asesor

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por la misericordia y sabiduría que me brinda cada día, y ayudarme a cumplir este objetivo profesional tan anhelado, así mismo, a mis padres, quienes son un pilar fundamental para yo poder lograr esta meta, por su constante sacrificio que realizaron para ayudarme a llegar a este punto de mi vida profesional. También expresar mi gratitud a mis amigos de buena fe, que me motivaron y apoyaron a cumplir este objetivo y finalmente agradecer a mi asesor Dr. Ing. Manuel Enrique Malpica Rodríguez, por la orientación y apoyo incondicional que me proporcionó en todo este proceso y poder hacer realidad esta investigación.

## **DEDICATORIA**

A mi padre, Néstor García Pompa, una persona de buen corazón, que me impulsó a salir adelante y lograr esta meta profesional, una persona que siempre estuvo ahí apoyándome he inculcándome a ser una persona de bien. De igual forma, a mi mamá Aurora López Cotrina, por el constante apoyo moral y por los consejos que me brindó, fueron cruciales para mantenerme firme en lograr este objetivo.

En general a todas las personas que me apoyaron en este arduo proceso y a quienes contribuyeron en distintas formas para lograr esta meta profesional.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1    Antecedentes teóricos de la investigación.....	4
2.2    Bases teóricas .....	7
2.2.1    Sistema de control y adquisición de datos.....	8
2.2.2    Proceso de abastecimiento de agua potable .....	15
2.3    Definición de términos básicos. ....	16
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1    Procedimiento.....	18
3.1.1    Metodología de desarrollo de la solución.....	21
3.1.2    Presupuesto.....	78
3.2    Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados.....	79
3.2.1    Tratamiento y análisis de datos .....	79
3.2.2    Presentación de resultados.....	94
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	103
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	105
5.1    Conclusiones .....	105
5.2    Recomendaciones.....	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	107
ANEXOS.....	111

Anexo 1: Operacionalización de variables.....	111
Anexo 2. Matriz de consistencia .....	112
Anexo 3. Cuestionario.....	113
Anexo 4: Ficha de observación .....	115
Anexo 5: Ficha de resumen.....	117
Anexo 6. Validación de instrumentos de recojo de datos por expertos.....	119
Anexo 7: Confiabilidad de cuestionario.....	128
Anexo 8: Tabla general electronic.....	130
Anexo 9: Prueba de normalidad .....	130
Anexo 10. Daños en la infraestructura. ....	131

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla I: Comparación de tecnologías de automatización .....</i>	8
<i>Tabla II: Comparación de tecnologías inalámbricas .....</i>	12
<i>Tabla III: Valoración de tecnologías .....</i>	13
<i>Tabla IV: Coordenadas de la torre, estaciones y reservorio .....</i>	24
<i>Tabla V: Distancia entre torre, estaciones y reservorio. ....</i>	24
<i>Tabla VI: Distribución de IP a cada equipo del radioenlace .....</i>	32
<i>Tabla VII: Características de controlador SIMATIC S7-1200. ....</i>	44
<i>Tabla VIII: Características de sensor de nivel tipo flotante horizontal. ....</i>	45
<i>Tabla IX: Características del sensor ultrasónico VEGAPULS. ....</i>	46
<i>Tabla X: Características del HMI SIEMENS. ....</i>	47
<i>Tabla XI: Costos de hardware .....</i>	78
<i>Tabla XII: Costo de implementación y programación de sistema SCADA con radioenlaces .</i>	78
<i>Tabla XIII: Costo Total de implementación de sistema SCADA con radioenlaces .....</i>	79
<i>Tabla XIV: Indicador de tiempo promedio y cantidad de observaciones en la fase de pre test .....</i>	80
<i>Tabla XV: Indicador de tiempo promedio y cantidad de observaciones en la fase de post test .....</i>	80
<i>Tabla XVI: Detalle para el tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta el reservorio principal, con y sin uso del sistema SCADA con radioenlaces. ....</i>	81
<i>Tabla XVII: Detalle de tiempo de traslado de operarios de una estación a otra, antes y después del uso del sistema SCADA con radioenlaces. ....</i>	81
<i>Tabla XVIII: Detalle del indicador tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal antes y después del uso del sistema SCADA con radioenlaces. ....</i>	82
<i>Tabla XIX: Estadísticas de muestras emparejadas o relacionadas de la dimensión tiempo. ..</i>	83

<i>Tabla XX: Correlación de muestras emparejadas para indicadores de la dimensión tiempo.</i>	84
<i>Tabla XXI: Prueba de muestras emparejadas de la dimensión tiempo.</i>	85
<i>Tabla XXII: Promedio de número de reboses y cantidad de agua perdida por día.</i>	86
<i>Tabla XXIII: Detalle del indicador cantidad de reboses por día, antes y después del sistema SCADA con radioenlaces.</i>	87
<i>Tabla XXIV: Detalle del indicador cantidad de agua perdida por reboses al día, antes y después del sistema SCADA con radioenlaces.</i>	87
<i>Tabla XXV: Estadística de muestras emparejadas de la dimensión almacenamiento.</i>	89
<i>Tabla XXVI: Correlaciones muestras emparejadas para la dimensión almacenamiento.</i>	89
<i>Tabla XXVII: Prueba de muestras emparejadas para la dimensión almacenamiento.</i>	90
<i>Tabla XXVIII: Promedio de personal en los meses registrados en un pre test y post test.</i>	91
<i>Tabla XXIX: Detalle de la cantidad de operarios a cargo del abastecimiento de agua en un pre test.</i>	91
<i>Tabla XXX: Detalle de la cantidad de operarios a cargo del abastecimiento de agua en un post test.</i>	91
<i>Tabla XXXI: Estadística de muestras emparejadas de la dimensión personal.</i>	93
<i>Tabla XXXII: Correlaciones muestras emparejadas para la dimensión personal.</i>	93
<i>Tabla XXXIII: Prueba de muestras emparejadas para la dimensión almacenamiento.</i>	93
<i>Tabla XXXIV: Operacionalización de variables</i>	111
<i>Tabla XXXV: Matriz de consistencia</i>	112
<i>Tabla XXXVI: Cuestionario dirigido a Expertos.</i>	113
<i>Tabla XXXVII: Ficha de observación pre test.</i>	115
<i>Tabla XXXVIII: Ficha de observación post test.</i>	116
<i>Tabla XXXIX: Ficha de resumen pre test.</i>	117
<i>Tabla XL: Ficha de resumen 2.</i>	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 1: Jerarquía de sistema SCADA</i> .....	9
<i>Fig. 2: Arquitectura de un PLC.</i> .....	10
<i>Fig. 3. Diagrama Ladder</i> .....	11
<i>Fig. 4:Diagrama Explicativo de la primera zona de Fresnel.</i> .....	14
<i>Fig. 5: Ubicación geográfica de Pilancones.</i> .....	18
<i>Fig. 6: Gráfico de tratamiento de variables</i> .....	19
<i>Fig. 7: Jerarquía de la metodología en cascada.</i> .....	22
<i>Fig. 8: Ubicación geográfica de la torre, estaciones y reservorio principal</i> .....	25
<i>Fig. 9: Radioenlace entre torre y reservorio principal.</i> .....	26
<i>Fig. 10: Radioenlace entre la torre y la estación N°4.</i> .....	27
<i>Fig. 11: Radioenlace entre la torre y la estación N°3.</i> .....	28
<i>Fig. 12: Radioenlace entre la torre y la repetidora.</i> .....	29
<i>Fig. 13: Radioenlace entre la repetidora y estación N°2.</i> .....	30
<i>Fig. 14: Radioenlace entre la torre y la estación N°1</i> .....	31
<i>Fig. 15: Radioenlaces entre la torre, estaciones y reservorio principal.</i> .....	31
<i>Fig. 16: Diagrama lógico de conexiones de radioenlaces.</i> .....	33
<i>Fig. 17: Switch industrial 6GK5005-0BA00-1AB2</i> .....	34
<i>Fig. 18: ePMP™ Force 300-25</i> .....	35
<i>Fig. 19: Fijación del equipo ePMP™ Force 300-25</i> .....	36
<i>Fig. 20: Montaje de equipos en torre.</i> .....	36
<i>Fig. 21: Montaje de receptor en poste de estación N°1.</i> .....	37
<i>Fig. 22: Montaje de antenas repetidoras</i> .....	38

<i>Fig. 23. Montaje de receptor en poste de estación N°2.</i> .....	38
<i>Fig. 24. Montaje de receptor en poste del reservorio</i> .....	39
<i>Fig. 25: Conexión de Switch.</i> .....	40
<i>Fig. 26: Diagrama del sistema SCADA con radioenlaces</i> .....	41
<i>Fig. 27: Controlador lógico programable SIMATIC S7-1200.</i> .....	43
<i>Fig. 28: Sensor de nivel tipo flotador horizontal.</i> .....	45
<i>Fig. 29: Sensor ultrasónico VEGAPULS 61.</i> .....	46
<i>Fig. 30: HMI 6AV2123-2GB03-0AX0.</i> .....	47
<i>Fig. 31: Diseño del funcionamiento de la red.</i> .....	50
<i>Fig. 32: Diseño de funcionamiento del proceso de abastecimiento de agua</i> .....	51
<i>Fig. 33: Diseño de la estación N°1.</i> .....	51
<i>Fig. 34: Diseño de la estación N°2.</i> .....	52
<i>Fig. 35: Diseño de la estación N°3.</i> .....	53
<i>Fig. 36: Diseño de la estación N°4.</i> .....	53
<i>Fig. 37: Diseño del reservorio.</i> .....	54
<i>Fig. 38: Creación de proyecto en TIA PORTAL.</i> .....	55
<i>Fig. 39: Interfaz de TIA PORTAL.</i> .....	55
<i>Fig. 40: Declaración de Variables.</i> .....	56
<i>Fig. 41: Comunicación de PLC.</i> .....	57
<i>Fig. 42: Código para conexión de controladores.</i> .....	58
<i>Fig. 43: Código para modo manual y automático.</i> .....	59
<i>Fig. 44: Código para activar y desactivar el sistema.</i> .....	59
<i>Fig. 45: Código para activar bombas.</i> .....	60
<i>Fig. 46: Código para simular nivel de tanques.</i> .....	62

<i>Fig. 47: Código para temporizadores.</i> .....	63
<i>Fig. 48: Código para alternar prendido de bombas.</i> .....	64
<i>Fig. 49. Normalizado y escalado del sensor ultrasónico.</i> .....	64
<i>Fig. 50: Instalación de sensor en estación 1.</i> .....	65
<i>Fig. 51: Instalación de sensores digitales en estaciones</i> .....	66
<i>Fig. 52: Instalación de controlador lógico programable</i> .....	67
<i>Fig. 53: Instalación de controlador y switch en estación 1.</i> .....	68
<i>Fig. 54: Instalación de sensor ultrasónico en reservorio principal.</i> .....	68
<i>Fig. 55: Conexión de selectores y led.</i> .....	69
<i>Fig. 56: Instalación de selector en tablero.</i> .....	70
<i>Fig. 57: Tablero de conexiones del reservorio.</i> .....	70
<i>Fig. 58: Instalación de HMI.</i> .....	71
<i>Fig. 59: Pantalla de comunicación.</i> .....	72
<i>Fig. 60: Set Poit para ingresar tiempo de activación de bombas.</i> .....	73
<i>Fig. 61: Configuración de temporizador.</i> .....	73
<i>Fig. 62: Esquema general P&amp;D.</i> .....	74
<i>Fig. 63: Pantalla estación N°1.</i> .....	75
<i>Fig. 64: Pantalla estación N°2.</i> .....	75
<i>Fig. 65: Pantalla estación N°3.</i> .....	76
<i>Fig. 66: Pantalla estación N°4.</i> .....	76
<i>Fig. 67: Pantalla reservorio principal.</i> .....	77
<i>Fig. 68: Dimensión funcionalidad</i> .....	95
<i>Fig. 69: Dimensión usabilidad</i> .....	95
<i>Fig. 70: Dimensión Fiabilidad</i> .....	96

Fig. 71: Resultados de tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal.....	97
Fig. 72: Resultados de tiempo de traslado de operarios de una estación a otra.....	98
Fig. 73: Resultados del tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal. .....	99
Fig. 74: Resultado de la cantidad de reboses por día.....	100
Fig. 75: Resultado de cantidad de agua potable perdida por reboses al día. ....	101
Fig. 76: Resultado de la cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable. ....	102
Fig. 77: Confiabilidad del instrumento cuestionario.....	128
Fig. 78: Estadística del total de elementos .....	128
Fig. 79: Estadística del total de elementos. ....	129

## RESUMEN

El proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones-Hulgayoc, presentaba dificultades de almacenamiento, tiempo de llenado del reservorio principal y una sobrecarga de personal, debido a la manipulación manual del proceso, ante esta situación se planteó el objetivo de implementar un sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces. Para cumplir con los objetivos propuestos en el estudio y mantener un orden secuencial, se utilizó una metodología en cascada de 5 etapas (análisis, diseño, programación, implementación y pruebas), además, se desarrolló la investigación en base a un nivel descriptivo, tipo aplicativo, método inductivo, diseño experimental con un pre y post prueba. Entonces usando el sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces se consiguió reducir el tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta el reservorio principal en un 81.06%, también, se logró reducir el tiempo de traslado de los operarios de una estación a otra en un 100%, de la misma forma, se logró disminuir el tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal en un 65.65%. Así mismo, la cantidad de reboses se logró disminuir en un 100%, adicionalmente se logró disminuir la cantidad de agua perdida en un 100%, por otro lado, la cantidad de personal a cargo del proceso de abastecimiento de agua se consiguió reducir en un 57,14%. Según el cuestionario que se realizó para evaluar las dimensiones del sistema, se obtuvo que, el 94% indicaron que la funcionalidad es “bueno”, así mismo, el 92% indicaron que la usabilidad es “bueno” y finalmente el 87% indicaron que la fiabilidad que tiene el mismo es “bueno”. Entonces los resultados demuestran que la implementación del sistema SCADA con radioenlaces tiene un efecto positivo en el proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pílancones-Hualgayoc.

**Palabras clave:** Proceso, sistema de control y adquisición de datos (SCADA), radioenlace, reporte, abastecimiento, cascada.

## **ABSTRACT**

The process of supplying drinking water in the community of Pilancones-Hulgayoc faced difficulties in storage, filling time of the main reservoir, and an overload of personnel due to the manual handling of the process. Given this situation, the objective was set to implement a Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system with radio links. To meet the objectives proposed in the study and maintain a sequential order, a 5-stage waterfall methodology (analysis, design, programming, implementation, and testing) was used. Additionally, the research was developed based on a descriptive level, applicative type, inductive method, and experimental design with a pre- and post-test. So, using the control and data acquisition system with radio links, the time it takes for water to travel from station 1 to the main reservoir was reduced by 81.06%. Additionally, the time for workers to move from one station to another was reduced by 100%. Similarly, the time to generate a filling report for the main reservoir was decreased by 65.65%. Likewise, the number of overflows was reduced by 100%, additionally, the amount of water lost was reduced by 100%, on the other hand, the number of personnel in charge of the water supply process was reduced by 57.14%. According to the questionnaire conducted to evaluate the system's dimensions, it was found that 94% indicated that the functionality is "good," likewise, 92% indicated that the usability is "good," and finally, 87% indicated that the reliability is "good." So, the results demonstrate that the implementation of the SCADA system with radio links has a positive effect on the drinking water supply process for the community of Pilancones-Hualgayoc.

Key words: Process, supervisory control and data acquisition (SCADA) system, radio link, report, supply, cascade

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el agua destinada para el consumo humano es fundamental para la supervivencia de las personas, por ello debemos evitar el desabastecimiento causado por reboses o por cualquier otro fenómeno. En el mundo, según la UNESCO [1], aproximadamente el 26% de la población a nivel mundial no tiene acceso al servicio de agua potable de forma constante, el proceso de abastecimiento es lento, desigual y muchas veces es desperdiciada, contaminada y manejada de manera insostenible. Un cuarto de la población mundial (1,600 millones) enfrenta recortes en el suministro de agua debido a que carecen de infraestructura y tecnología para automatizar los procesos de abastecimiento de agua potable, el 96% de la población mundial que vive en zonas urbanas utiliza fuentes de agua potable de una red mejorada y ocho de cada diez personas, aún sin acceso a fuentes de agua potable mejorada viven en zona rural [2].

Por otra parte, en Latinoamérica y el Caribe los recursos hídricos están por encima del número de habitantes, poseen el 26% de las reservas de agua a escala mundial, sin embargo, el 25% de los habitantes de las zonas rurales tienen un desabastecimiento de agua potable porque el proceso de abastecimiento es deficiente, por la falta de infraestructura, tecnología, etc. [2]. En el Perú según [3], hay más de 2 millones 370 mil viviendas que no tienen abastecimiento de agua potable, lo que implica que el 28,6 % de las familias del país no tienen acceso a un derecho fundamental como es el agua, además muchos de los procesos de abastecimiento de agua potable se llevan a cabo de manera manual, lo que genera diversos problemas como reboses los cuales provocan daños materiales, como por ejemplo en la ciudad de Lima, el asentamiento humano San Camilo en el distrito de Independencia quedó totalmente afectado, debido al mal monitoreo de los procesos de abastecimiento de agua potable (rebose del agua potable contenida en el reservorio), ocasionando daños materiales que afectó a la población de este lugar, donde 9 de cada 10 viviendas quedaron afectadas [4].

En Cajamarca, el 42,1% de las viviendas, es decir cerca de 137 mil, carecen de un constante abastecimiento de agua apta para consumo humano [3], esta problemática se intensifica con el deficiente proceso de abastecimiento de agua potable, debido a

la ausencia de infraestructura, tecnología, insuficiente inversión en proyectos de automatización, falta de conocimiento en sistemas de automatización, etc.

El abastecimiento de agua potable para la comunidad de Pílancones-Hualgayoc, no es ajeno a la realidad problemática presentada en el ámbito internacional, latinoamericano y peruano. La comunidad de Pílancones tiene como fuente principal la captación de dos manantiales que están ubicados en la parte baja de la comunidad, entonces, el proceso de abastecimiento incluye 4 estaciones ubicadas una tras otra y el reservorio principal que se ubica en la parte más elevada. La estación 1 almacena el agua de los dos manantiales y mediante una electrobomba es impulsada hacia la estación 2, donde se encuentra un tanque con capacidad de 2500 L que almacena el agua y una electrobomba que impulsa el líquido elemento a la estación 3, en esta estación el funcionamiento es similar que en la estación 2, así mismo, en la estación 4 existe un tanque con capacidad de 2500 L que almacena el agua y una electrobomba que impulsa hacia el reservorio principal, sin embargo, el control y monitoreo del proceso de abastecimiento se realizan de manera manual por el personal de operaciones, esto implica que haya múltiples reboses diarios que perjudica la infraestructura y equipos de cada estación, así mismo, el tiempo que tarda el agua en llegar desde la estación 1 hasta el reservorio principal es demasiado lento, lo que implicada un desabastecimiento de agua hacia los usuarios finales y debido a la distancia que hay entre estaciones existe un número elevado de operarios trabajando en el proceso de abastecimiento; entonces observando esta problemática es importante que el proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pílancones-Hualgayoc sea automatizado, es por ello que se plantea la pregunta a investigar: ¿Cuál es el efecto de la implementación de un sistema SCADA con radioenlaces en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones-Hualgayoc? Así mismo, se formula la hipótesis, la implementación de un sistema SCADA con radioenlaces automatiza el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones-Hualgayoc. Por otra parte, la investigación se justifica de distintas formas: teórica, práctica, social y económica, desde el punto de vista teórico, se busca generar nuevo conocimiento en la localidad y modernizar los procesos que vienen funcionando en la actualidad; desde el punto de vista práctico, la implementación del sistema SCADA con radioenlaces permite monitorear y visualizar en tiempo real todo el proceso de abastecimiento de agua potable de la

comunidad de Pílancones, de esta manera minimizar los problemas que hay en la actualidad; desde el punto de vista social, se busca mejorar la calidad de vida de los usuarios de la comunidad y desde el punto de vista técnico-económico la implementación del sistema SCADA con radioenlaces minimiza la cantidad de reboses, evitando daños en infraestructura y equipos, así mismo, reduce el tiempo del llenado del reservorio principal y mejorando el abastecimiento de agua para la comunidad de Pílancones.

La investigación tiene como alcance la automatización del proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pílancones-Hualgayoc, mas no se interviene en la calidad del líquido elemento, determinando que el agua es potable. En la realidad problemática planteada se puede percibir que no existe un adecuado proceso de abastecimiento de agua, entonces se propone la implementación de un sistema SCADA con radioenlaces. El objetivo general de la investigación es determinar el efecto de la implementación de un sistema SCADA con radioenlaces en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones-Hualgayoc, además, como objetivos específicos, se busca determinar el efecto del sistema SCADA con radioenlaces en el almacenamiento de agua potable, tanto en las estaciones como en el reservorio principal, determinar el efecto del sistema SCADA con radioenlaces en el tiempo de llenado del reservorio principal y determinar el efecto del sistema SCADA con radioenlaces en el número de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pílancones Hualgayoc.

Finalmente, el desarrollo de la presente investigación se divide en los siguientes capítulos: capítulo I (Introducción), donde se describe la realidad problemática que existe en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones, se formula la pregunta principal, se justifica la investigación, se plantea el objetivo general y objetivos específicos; capítulo II (Marco teórico), en este apartado se describe investigaciones realizadas por otros autores y bases teóricas; capítulo III (Materiales y métodos), aquí se describe el procedimiento que se utiliza en la investigación, metodología, tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados; así mismo , en el capítulo IV se realiza un análisis y discusión de resultados con las investigaciones citadas en el capítulo anterior, por último, el capítulo V se aborda las conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

En este apartado se detalla las investigaciones internacionales, nacionales y locales desarrolladas por otros autores, rescatando su metodología, variables de estudio, resultados y conclusiones.

Jácome [5] aborda el tema de automatización de bombeo de agua utilizando control de nivel en la estación Miraflores, esta investigación se realiza en EP-EMAPA-ECUADOR, se plantea como objetivo automatizar el sistema de bombeo y controlar el nivel de la cisterna de la estación, Jácome usa una metodología con enfoque cuantitativo, tipo aplicada y bibliográfica, obteniendo como resultado de esta investigación la implementación del sistema de control utilizando (dispositivos de campo, HMI, PLC, red de comunicación, etc.), entonces, llega a la conclusión que implementando el sistema de control se puede visualizar niveles máximos y mínimos de agua tanto en la estación Miraflores como de los tanques de almacenamiento, además optimiza los recursos hídricos y físicos de las estaciones. La presente tesis es importante para el desarrollo de la presente investigación porque Jácome utiliza variables, metodología de investigación e instrumentación semejantes a las que se van a utilizar en la presente tesis; por lo tanto, corrobora la hipótesis de que utilizando un sistema de control y adquisición de datos se puede automatizar un proceso.

Por otro lado, Villalobos [6] plantea el desarrollo de un sistema SCADA para controlar un simulador de procesos industriales a través de redes de internet, la cual tiene por objetivo desarrollar de un sistema de control para la supervisión de una planta, regulando el caudal, nivel y presión, la metodología que usa el autor es UP (proceso unificado de desarrollo de Software). Como resultado de este proyecto es una aplicación de escritorio implementada en el lenguaje Java que permite a los usuarios, a través de sus redes de computadores, supervisar y controlar la actividad de una planta o unidad de simulación de procesos industriales. Villalobos concluye, el sistema SCADA conectado a través de una red de computadores permite controlar y supervisar en tiempo real la planta así regulando el caudal, nivel y presión. Este antecedente es importante para el desarrollo de esta investigación porque permite entender el alto impacto que tiene la implementación de un sistema SCADA en el

control, monitoreo y supervisión de agua o de cualquier proceso industrial, además comparte componentes implementados del sistema SCADA que en la presente investigación se quiere implementar.

Así mismo, Mogrovejo [7] aborda el diseño y simulación de un sistema SCADA para el control y monitoreo de reservorios de agua potable usando un algoritmo de control mediante una red inalámbrica en Arequipa. El objetivo del autor es controlar y monitorear los reservorios de agua potable utilizando una red inalámbrica industrial en la banda de 2.4 GHz. La metodología que emplea Mogrovejo es empírico-analítica (cuantitativa), de tipo cuasi-experimental, aplicada y de nivel descriptivo, empleando cuestionarios como fuente para la recopilación de información documental y de campo. El resultado de la tesis es la implementación del sistema SCADA, donde el 80% de los que usan el sistema la califican como sistema muy bueno, así mismo, con el uso del sistema reduce el tiempo de respuesta en reservorios de un promedio de 50 minutos a tan solo un minuto, esto representa una reducción del 98%, también minimizó el tiempo de puesta en marcha los reservorios de 90 minutos a 2.5 es representa un 97.33 % de reducción, por otra parte, reduce el número de horas hombre de 6 a tan solo 2.5 horas esto representa una reducción del 58.4%. El bachiller llega a la conclusión de que el sistema SCADA es efectivo para el control y monitoreo de los datos de los reservorios en la ciudad de Arequipa; además, se pudo determinar que la red inalámbrica cumplió con los requisitos de fiabilidad, seguridad e integridad. Esta tesis es importante para el desarrollo de este proyecto porque la solución que implementa el autor permite avalar la hipótesis de sistema SCADA y radioenlaces, además de ver el alto impacto que tiene la implementación de un sistema de control en la actualidad para automatizar procesos industriales.

Por otra parte, Florencio [8] detalla el desarrollo e implementación de un sistema SCADA para la distribución de agua potable, con el objetivo de automatizar el control y la supervisión del proceso. La investigación se desarrolla en Machay-Lima donde la distribución de agua se da en 23 estaciones distribuidas en todo el pueblo, es importante mencionar que el sistema SCADA se centra fundamentalmente en sistemas eléctricos, telecomunicaciones, instrumentación, programación de controladores y el desarrollo de interfaz humana para el monitoreo. El resultado de la tesis de Florencio es la configuración de instrumentos que transmiten información de flujo, presión y nivel de agua, además la configuración de la red para centralizar y

tener el control desde un solo lugar. El autor llega a la conclusión que el sistema SCADA cumple con los requerimientos de control y monitoreo en tiempo real, además el proceso funciona de manera automática y por lo tanto comprueba la optimización de recursos humanos y materiales. Esta tesis es importante para el desarrollo de esta investigación porque el autor implementa el sistema SCADA utilizando dispositivos de campo, red de comunicación, controladores, semejantes a lo que se propone implementar en esta investigación, además avala la hipótesis planteada.

Por otro lado, Paredes [9] aborda la implementación de un sistema de control y monitoreo SCADA para la distribución de agua potable en la ciudad de Lambayeque, la investigación surge por problemas de desabastecimiento y reboses, planteando como objetivo implementar un sistema SCADA para automatizar el proceso de llenado de reservorios para distribución del agua a la población, beneficiando a más de 30 mil habitantes, así mismo, usa una metodología con enfoque cuantitativo y de tipo aplicada. Paredes obtiene como resultado la visualización en tiempo real del nivel de agua, generando alarmas para evitar el rebose. Además, llega a la conclusión de que la implementación del sistema SCADA ha dado los resultados esperados, mostrando valores y parámetros automatizados que se requieren para el control de las variables. Esta tesis es importante para el desarrollo de esta investigación porque permite conocer y entender mejor el funcionamiento del sistema SCADA, respaldando la hipótesis planteada. Además, la tesista utiliza variables, metodología y componentes del sistema similares a lo que se propone utilizar y controlar en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones-Hualgayoc.

Por otra parte, Negrete y Díaz [10] plantea el diseño de un sistema SCADA con radioenlaces para mejorar la distribución de agua potable en la ciudad de Chiclayo. El objetivo es diseñar un sistema SCADA con radioenlaces para mejorar la distribución de agua potable en la ciudad de Chiclayo por parte de la empresa EPSEL S.A. El enfoque que emplean los autores es cuantitativo, de método inductivo y aplicado, el resultado del estudio es el diseño del sistema SCADA con radioenlaces utilizando simulaciones. Los alumnos llegaron a la conclusión que utilizando el sistema SCADA, el personal técnico reduce el tiempo de recopilación de datos tales como volumen, presión y monitoreo del caudal y nivel de agua, además facilita el trabajo de los operarios y mejora la distribución de agua potable en sectores y subsectores de la ciudad de Chiclayo. Esta tesis es importante para la realización de la presente

investigación porque la propuesta y metodología de solución que se plantea en dicha tesis es semejante a lo que se plantea para el proceso de abastecimiento de agua potable en Pílancones-Hualgayoc, además permite conocer el gran efecto que produce la implementación de un sistema SCADA en un proceso.

Finalmente, Gonzales [11] desarrolla un prototipo de solución para monitoreo y control remoto de una red de distribución de agua potable mediante la tecnología LoRa WAN. El propósito del autor es desarrollar un circuito electrónico que permita monitorear y controlar el flujo de agua remotamente utilizando una red inalámbrica, la metodología que emplea el autor es de nivel descriptivo y diseño experimental. Los resultados obtenidos por Gonzales indican que la tecnología LoRa WAN tiene un rango de cobertura amplia, alta penetración de obstáculos, costo bajo en la implementación y cumple con el control y monitoreo remoto de la distribución de agua potable. Gonzales concluye que la tecnología inalámbrica LoRa WAN facilita la visualización precisa en tiempo real, además amigable a través de su interfaz; así mismo posibilita un control rápido y totalmente remoto sobre el cierre o apertura de ese tramo de red de agua potable. Esta tesis es importante para el desarrollo de esta investigación ya que facilita consolidar el entendimiento sobre el uso de la red inalámbrica en un sistema de automatización.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

En la actualidad existen diferentes tecnologías para controlar y monitorear procesos industriales de forma local o remota, como por ejemplo SCADA (sistema de control y adquisición de datos), DCS (Sistema de control distribuido), en la tabla I se describe la diferencia entre estas dos tecnologías.

Tabla I: Comparación de tecnologías de automatización

DCS	SCADA
<p>Facilita el control directo de procesos industriales.</p> <p>Ofrece un control distribuido, donde cada controlador local controla un proceso o sección de un proceso.</p> <p>DCS es común en la industria química, petroquímica y de refinería.</p>	<p>Se enfoca en la supervisión y el control remoto de procesos industriales.</p> <p>Permite una supervisión centralizada de sistemas</p> <p>Utiliza en sectores como el energético, el transporte y el agua</p> <p>Se caracteriza por tener una interfaz de usuario intuitiva que permite a los operadores interactuar con el sistema y visualizar los datos en tiempo real.</p>

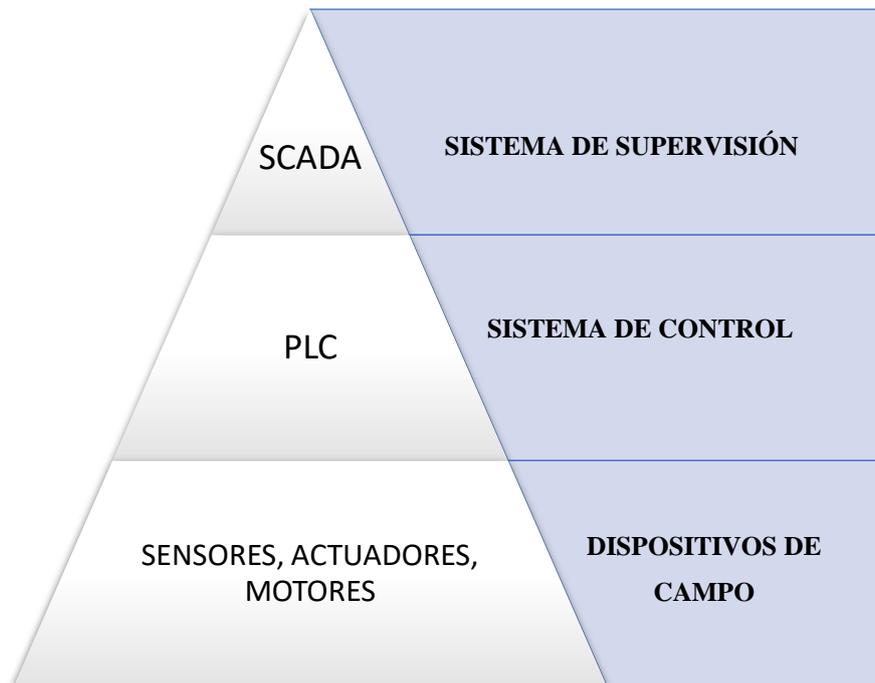
Analizando las ventajas y desventajas de estas dos tecnologías y el contexto que se presenta en el proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pílancones, por la ubicación de las estaciones y reservorio principal, necesidad de centralizar la información y observar en tiempo real el proceso, entonces, la mejor opción para automatizar este proceso es el uso de un sistema SCADA.

### 2.2.1 Sistema de control y adquisición de datos

Según Pérez [12] el Sistema de Control y Adquisición de Datos (SCADA) facilita la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interfaz gráfica que comunica al usuario con el sistema. Según Rodríguez [13] un sistema SCADA posibilita a una organización controlar y monitorear sus procesos desde una ubicación centralizada y la interacción entre interfaz con el operador. Así mismo, Romero [14] el sistema SCADA cumple la función de supervisión remota de instrumentos utilizados en un proceso, entonces, un sistema de control facilita el conocimiento del estado de desempeño de las instalaciones y equipos alojados en la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas desde una sala de control, también tiene la función de procesamiento de datos, analizando y comparando con datos anteriores y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una

información confiable y veraz, permitiendo generar reportes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.

Los sistemas SCADA incluyen hardware y software, el hardware abarca los dispositivos de campo (sensores digitales y sensores analógicos), controladores lógicos programables (PLC), interfaz hombre maquina (HMI) y red de comunicación como se ilustra en la figura 1 adaptado de [15] , y dentro del software se encuentran aplicaciones, programas de software que analizan y traducen los datos recopilados y programas de software que ejecutan funciones de control y alarma, sin embargo, también obtiene datos desde la estación central, decodifica los datos obtenidos y facilita la ejecución de las órdenes para activar los dispositivos de campo [15].



*Fig. 1: Jerarquía de sistema SCADA*

Un sistema SCADA tiene funciones de automatización, supervisión, manejo de alarmas y generación de reportes, se define cada una de estas funciones; automatización se refiere a mejorar los procesos industriales, mostrando datos de forma continua y confiable desde los dispositivos de campo, ejecutándolo de manera automática el estado del proceso, así mismo supervisa la ejecución del proceso por medio de la HMI mostrando y alertando al operador de cambios detectados en la planta ya sea por condiciones o actos, donde el operador podrá iniciar acciones de control, tales como abrir o cerrar válvulas, arrancar o parar bombas, también un

sistema SCADA tiene la función de manejo de alarmas, cuando detecta alguna anomalía en el proceso, finalmente tiene la función de generar reportes basadas en la información obtenida desde los dispositivos de campo [15]. Así mismo, se define el controlador lógico programable (PLC), como un dispositivo que permite crear o modificar instrucciones para que las ejecute y pueda controlar señales digitales o analógicas asociadas al control automático de procesos industriales [16], como se observa en la (Figura 2 adaptado de [17]) el controlador tiene unidad central de procesamiento, bloques de entrada y salida, memoria, interfaz de programación y fuente de alimentación, además, posee herramientas necesarias, tanto de software como de hardware, para controlar dispositivos externos, recibiendo señales de sensores y tomar decisiones de acuerdo a un programa que el usuario elabore según el esquema del proceso a controlar, entonces el PLC actúa sobre señales de salida para activar desactivar algún tipo de actuador.

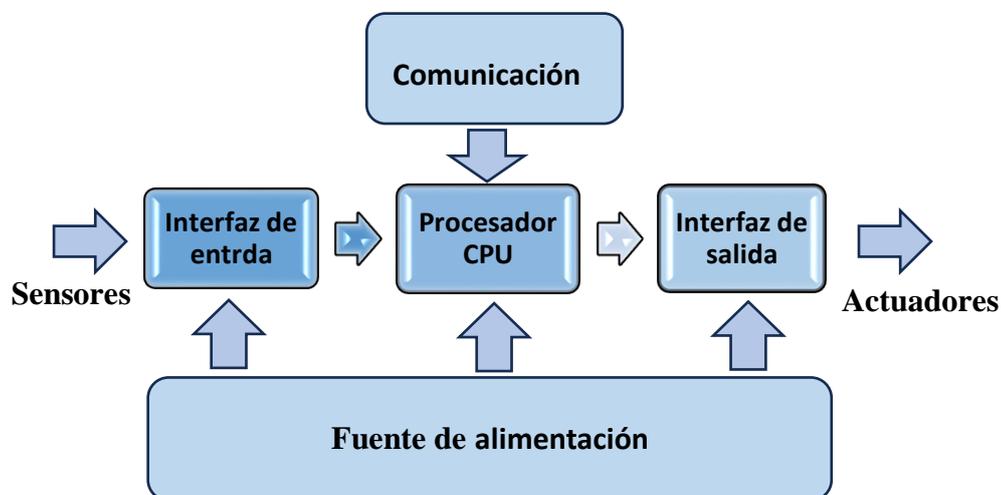


Fig. 2: Arquitectura de un PLC.

Según [17] un controlador se puede considerar una caja llena de relés de entrada y salida, memoria para almacenamiento de datos, donde el relé de entrada se conecta al mundo exterior, recibiendo señales de sensores, switch, etc., por otro lado, el relé de salida se encarga de enviar las instrucciones de activado o desactivado a los actuadores. Para programar un controlador lógico es importante conocer del lenguaje KOP también conocido como Ladder, según [8] es un lenguaje gráfico que se utiliza para programar autómatas, a través de compuertas lógicas (AND/OR), basado en como la energía fluye desde un lado del carril de alimentación pasando por contactos (normal mente abierto y normalmente cerrado) (Figura 3), además este lenguaje tiene

instrucciones o funciones que se puede utilizar como (temporizadores, contadores, comparadores, escalado, normalizado, etc.).

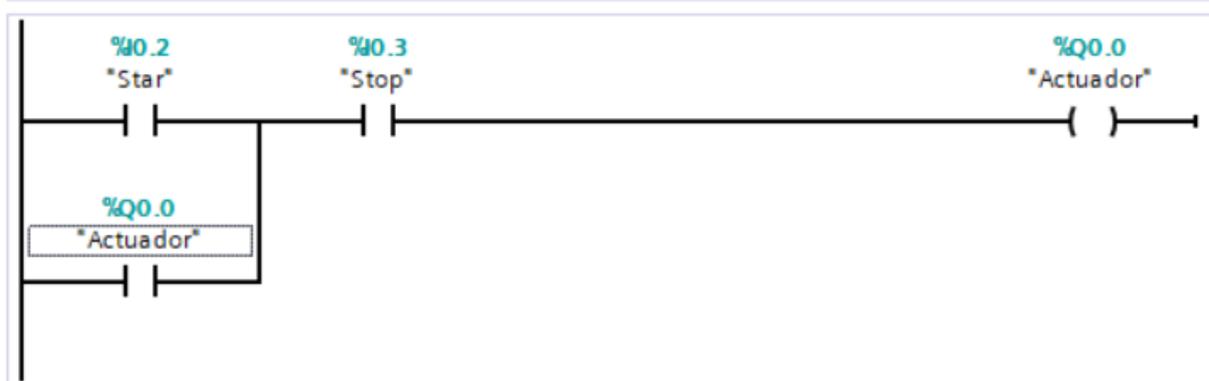


Fig. 3. Diagrama Ladder

Un componente importante en el sistema de control es la Interfaz Hombre- Maquina (HMI), un panel o pantalla que permite a un operador interactuar con un proceso y determinar el estado (prendido/apagado) o magnitud de los equipos que están presentes en una planta o proceso industrial [15]. Por otra parte, la pantalla HMI se comunican con los controladores lógicos programables, estos con los sensores obteniendo información en tiempo real y de esta manera los usuarios tienen la posibilidad de visualizar un proceso, también esta interfaz permite, visualizar datos, rastrear el tiempo de producción, supervisar indicadores y monitorear entradas y salidas de un actuador. Así mismo un componente no menos importante dentro del sistema SCADA es el sensor, unidad electrónica utilizada para transformar magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas, existen sensores capacitivos, inductivos, analógicos y digitales, según [18] un sensor capacitivo es un dispositivo en los que la magnitud física que mide cambia su geometría o la característica de material dieléctrico, así mismo un sensor inductivo son dispositivos en los que la magnitud física que hay que medir provoca un cambio en las características de un material ferromagnético, sin embargo un sensor analógico se define como dispositivos que emiten una señal comprendida por un campo de valores que varían con el tiempo y son proporcionales a los efectos que se están midiendo, dentro de este tipo de sensores tenemos al sensor ultrasónico, que mide el nivel mediante el uso de ondas ultrasónicas o en forma de eco, donde el cabezal emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto midiendo la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción [19]. [20] Indica que el sensor ultrasónico

calcula internamente la distancia hacia el objeto, basado en el tiempo transcurrido entre la emisión y recepción de la señal, mientras que el sensor digital entrega como salida un cero o un uno, encendido o apagado.

Para la integración de todos los equipos de un sistema de control es necesario usar una red de comunicación, existen redes alámbricas e inalámbricas, a continuación, se define los dos aspectos, una red alámbrica es la conexión física para la comunicación entre dos equipos, se puede utilizar medios de comunicación como cable UTP o fibra óptica, mientras que una red inalámbrica los dispositivos se pueden comunicar mediante ondas electromagnéticas u ondas de radio, como por ejemplo bluetooth, LoRaWAN, WiMax, ZigBee, Wi-Fi, Li-Fi [21], en la tabla II y III se realiza una comparación entre las diferentes tecnologías inalámbricas que existen.

*Tabla II: Comparación de tecnologías inalámbricas*

<b>Tecnología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Usos principales</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
Radioenlaces	Comunicación inalámbrica punto a punto o multipunto usando radiofrecuencia.	Transmisión de datos entre estaciones remotas y centros SCADA.	Alcance de varios kilómetros, buena velocidad de transmisión.	Requiere línea de vista, susceptible a interferencias climáticas.
LoRaWAN	Red de área amplia de baja potencia (LPWAN) para IoT.	Monitoreo de sensores dispersos en áreas rurales.	Gran alcance (hasta 15 km), bajo consumo de energía.	Velocidad de transmisión baja, mayores vulnerabilidades a interferencias
WiMAX	Tecnología de comunicación inalámbrica de alta velocidad y largo alcance.	Alternativa para conectar estaciones SCADA en zonas remotas.	Alta velocidad, gran cobertura (mayor que WiFi).	Equipamiento costoso, necesita permisos en algunos países.
ZigBee	Protocolo de comunicación inalámbrica de corto alcance para IoT.	Conexión de sensores cercanos entre sí en una red mallada.	Muy bajo consumo, ideal para redes de muchos sensores.	Alcance corto (10–100 m), no ideal para distancias largas.

Tabla III: Valoración de tecnologías

Tecnología	Valoración para 2000 m	Comentario
Radioenlaces	Muy adecuado	Son ideales para distancias de 2 km. Solo se necesita buena línea de vista.
LoRaWAN	Muy adecuado	Ideal para sensores distribuidos a 2 km. LoRaWAN tiene alcances de hasta 10–15 km.
WiMAX	Adecuado, pero sobre potente	Puede manejar 2 km fácilmente, pero WiMAX está pensado para distancias mucho más grandes (hasta 50 km). Es más costoso y sobredimensionado para 2 km.
ZigBee	No adecuado	ZigBee tiene un alcance muy corto (normalmente hasta 100 m). No sirve para 2 km, salvo si se construye una red mallada con muchos repetidores, lo cual es costoso y complejo.

Analizando las necesidades para el eficiente funcionamiento del sistema en el proceso de abastecimiento de agua para la comunidad de Pilancones, donde es prioridad tener una velocidad de transmisión alta, buen ancho de banda, entonces, los radioenlaces son altamente recomendables para el desarrollo de este proyecto teniendo en cuenta siempre que haya línea de vista clara y las ventajas que ofrece; LoRaWAN también es una alternativa si se busca una solución económica y eficiente para múltiples dispositivos pero tiene baja tasa de transferencia de datos, así mismo, WiMAX también es una alternativa pero no resulta rentable para distancias tan cortas, por otro lado ZigBee no es adecuado en este contexto, entonces por las ventajas que presenta la tecnología radioenlace es adecuado implementar en este proyecto de automatización.

Entonces, según [22] los radioenlaces está compuesto por transmisor y receptor, donde el transmisor es el que produce la señal microondas de cierta potencia y frecuencia y la antena receptora capta, decodifica e interpreta la señal, así mismo, los radioenlaces tienen ventajas como, por ejemplo, sencilla y rápida instalación, baja inversión, evita desperfectos del terreno al tener en cuenta la orografía, permite transmitir grandes cantidades de datos, permite conexión a internet en zonas rurales, donde el cable no es posible o rentable y ofrece confiabilidad.

Dentro de este tipo de comunicación se tiene dos formas de conexión, punto a punto y punto multipunto, un enlace punto a punto son conexiones que se realiza únicamente entre dos equipos, sin embargo, un enlace punto multipunto se realiza la comunicación en más de dos dispositivos. Para tener una comunicación exitosa entre equipos de un radioenlace se tiene que tener en cuenta el cálculo correcto de la primera zona de Fresnel y azimut, de esta forma se minimiza la atenuación, interferencia y pérdida de información en el enlace, según [23], azimut es el ángulo de dirección horizontal de una antena, se toma como referencia el norte como cero grados, se continúa girando en el sentido de las agujas del reloj llegando a los 90 grados de azimut y la zona de Fresnel es un conjunto concéntrico de elipsoides (Figura 4 adaptada [23]) que se genera entre la antena transmisora y la receptora, existe diferentes zonas de Fresnel, pero la más importante es la primera zona, porque contiene el 50% de la potencia de la onda, entonces para que haya una comunicación física eficiente y el nivel de recepción sea equivalente al obtenido en el espacio libre, es suficiente tener libre al menos el 60% de la primera zona de Fresnel a lo largo de todo el trayecto, de lo contrario la onda reflejada tiende a cancelar la onda directa.

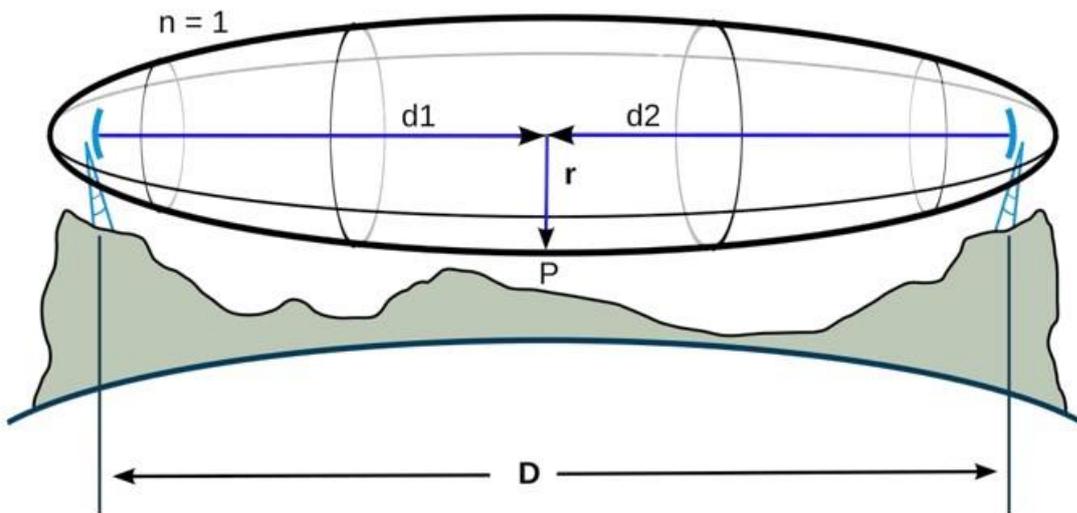


Fig. 4: Diagrama Explicativo de la primera zona de Fresnel.

$$r(m) = 17,32 X \sqrt{\frac{d1(km)d2(km)}{D(km)f(GHz)}}$$

Dónde:

$r$  = Radio de la primera zona de Fresnel en metros.

$d_1, d_2$  = Distancia de la antena al obstáculo en kilómetros.

$D$  = Distancia entre antenas en kilómetros.

$F$  = Frecuencia de operación del sistema.

### **2.2.2 Proceso de abastecimiento de agua potable**

Hoy en día el correcto abastecimiento de agua potable es indispensable para contrarrestar el problema de la crisis del agua, entonces un proceso de abastecimiento de agua potable, consiste en un conjunto de obras necesarias para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua desde fuentes naturales ya sean subterráneas o superficiales hasta las viviendas de los habitantes que serán favorecidos con dicho sistema, por lo tanto, un correcto diseño del proceso de abastecimiento de agua potable lleva al mejoramiento de la calidad de vida, salud y desarrollo de la población [24]. Según [25] el proceso de abastecimiento tiene diferentes etapas, captación, conducción, almacenamiento y distribución, se describe cada una de estas etapas para entender como es el proceso de abastecimiento; según [26] captación, es la parte inicial de un proceso de abastecimiento, consiste en captar el agua a través de obras civiles para poder alimentar a un reservorio y luego distribuir al usuario final, sin embargo para definir el tipo de captación es importante conocer el tipo de disponibilidad del agua en la tierra basándose en el ciclo hidrológico, se considera diferentes tipos como superficiales, subterráneas, meteóricas y de mar; una etapa importante en el proceso de abastecimiento es la conducción del líquido elemento, consiste en llevar el agua desde la captación hasta un tanque o reservorio donde puede ser tratada; esta etapa de tratamiento se elimina elementos físicos, químicos y así pueda ser apta para el consumo humano; una etapa no menos importante es la de almacenamiento del agua potable para finalmente distribuir al usuario final, esta última etapa del proceso de abastecimiento de agua potable significa entregar el agua a los usuarios en su domicilio con una cantidad y calidad adecuada.

De acuerdo a las definiciones y etapas de un proceso de abastecimiento de agua potable es fundamental tener un adecuado abastecimiento de agua de inicio a fin, sin embargo, para automatizar este proceso en la presente investigación se propone implementar un sistema SCADA con radioenlaces que permita mejorar la conducción y almacenamiento del proceso de abastecimiento de agua potable, así mismo, que sea útil para los operarios, que les permita visualizar desde un centro de control y en tiempo real el nivel de almacenamiento de agua, tanto en el reservorio principal como en las estaciones y de esta manera minimizar reboses, minimizar el tiempo de llenado del reservorio principal, reducir el número de operarios.

## **2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.**

### **Proceso**

Conjunto de actividades planificadas que implican la participación de personas y recursos materiales coordinados para conseguir un resultado previamente identificado [27].

### **Abastecimiento**

Abastecimiento es un conjunto de obras necesarias para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua desde fuentes naturales ya sean subterráneas o superficiales hasta las viviendas de los habitantes que serán favorecidos con dicho sistema [24].

### **Sistema de control y adquisición de datos (SCADA)**

Sistema de Control y Adquisición de Datos, controla y gestiona cualquier proceso industrial de manera local o remoto gracias a la interfaz gráfica que comunica el usuario con el sistema [12].

### **Controlador lógico programable (PLC)**

Dispositivo con una unidad central de procesamiento capaz de crear y modificar instrucciones para ejecutar y controlar señales eléctricas asociadas a un proceso [16].

### **Interfaz hombre máquina (HMI)**

Interfaz Hombre-Maquina, panel o pantalla que permite la comunicación entre el usuario y el sistema, mostrando información o datos en tiempo real [28].

### **Sensor**

Unidad electrónica utilizada para transformar magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas y medibles [28].

### **Azimut**

Azimut es el ángulo de dirección horizontal de una antena, se toma como referencia el norte como cero grados, se continúa girando en el sentido de las agujas del reloj llegando a los 90 grados de azimut [23].

### **Zona de Fresnel**

La zona de Fresnel es un conjunto concéntrico de elipsoides horizontales que se genera entre la antena transmisora y la receptora [23].

### **Ladder**

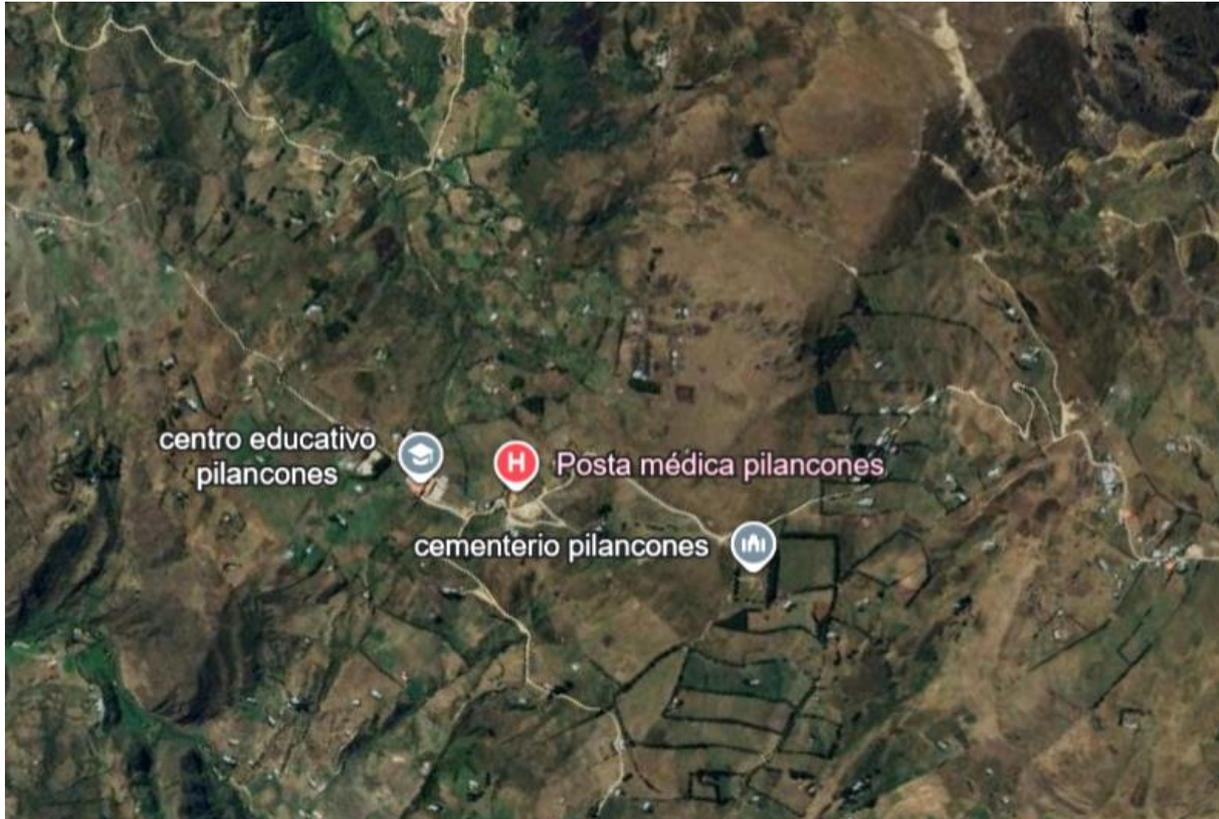
Lenguaje de programación gráfico, se utiliza para realizar la lógica de control de procesos de automatización industrial [29].

### **Tiempo real**

Dispositivo capaz de mostrar el valor de una variable en el instante preciso en que la misma mide un valor [15].

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de la presente investigación se realizó en la comunidad de Pilancones (figura 5), la cual pertenece al distrito y provincia de Hualgayoc y departamento de Cajamarca, está ubicada a 3509 msnm, con una latitud sur  $6^{\circ} 44' 26.5''$  y una latitud oeste  $78^{\circ} 37' 17''$ , con un aproximado de 112 viviendas; el proyecto se desarrolló en un periodo 2024 y 2025.

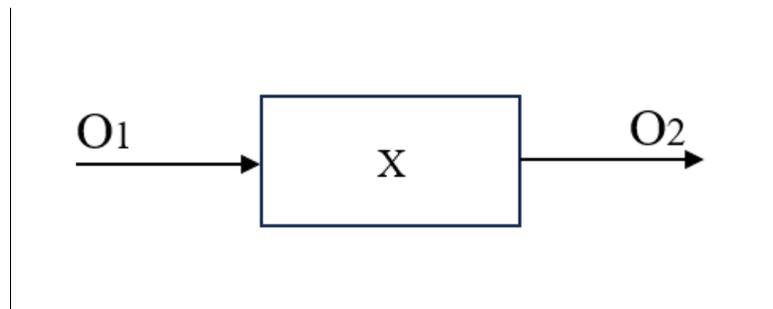


*Fig. 5: Ubicación geográfica de Pilancones.*

### 3.1 PROCEDIMIENTO

En este apartado se describe el tipo, nivel, diseño, método, población, muestra, unidad de análisis y técnicas e instrumentos empleados para la recolección de datos. La presente investigación es de tipo aplicada [30], porque se busca conocer la realidad, los problemas que existen en el proceso de abastecimiento de agua potable y luego actuar y cambiar esa realidad, buscando el bienestar y comodidad del ser humano, además, este tipo de investigación está orientada a la solución de problemas. Así mismo, el nivel de la investigación es explicativa [31], buscando responder a un porqué y explicar la relación entre causa-efecto del proceso de abastecimiento, su

cuantificación y así tener un mejor entendimiento para afirmar o refutar teorías planteadas en investigaciones realizadas anteriormente. Así mismo, para confirmar o refutar la hipótesis se utilizó el diseño pre- experimental [31], donde se realizó la manipulación intencional de la variable independiente y se analizó el efecto que trae en la variable dependiente, es decir, en este diseño existe un pre test y un post test en el análisis (ver figura 6).



*Fig. 6: Gráfico de tratamiento de variables*

Donde:

O1: Pre test

X: (Sistema SCADA con radioenlaces)

O2: Post test

Por otra parte, se usó el método inductivo [32], partiendo de la observación de la realidad problemática que existe, siguiendo paso a paso hasta llegar a una solución general. La población de estudio, está representada por el proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pílancones Hualgayoc, entonces al ser la población pequeña la muestra es poblacional, así mismo, la unidad de análisis también está representada por el proceso de abastecimiento de agua potable. Así mismo, se presenta la matriz de operacionalización (Ver Anexo 1), donde detalla de forma resumida las dimensiones, indicadores e instrumentos que se utilizó en la investigación, adicionalmente, se muestra la matriz de consistencia (Ver Anexo 2) la cual resume de forma adecuada los elementos del proyecto de investigación.

A continuación, se describen las diferentes técnicas e instrumentos que se utilizaron para recolectar datos de las dimensiones de la presente investigación. Para la variable independiente (sistema SCADA con radioenlaces) se utilizó la técnica encuesta [31] con su instrumento cuestionario (ver Anexo 3), un instrumento muy utilizado para la recolección de datos, consiste en realizar una serie de preguntas respecto a una o

más variables a medir, entonces con este instrumento se recolecta la información de las dimensiones (usabilidad, funcionalidad y fiabilidad). Por otra parte, para recolectar información de la variable dependiente (proceso de abastecimiento de agua potable), se utilizó la técnica observación con su instrumento ficha de observación (Ver Anexo 4) y la técnica análisis documental con su instrumento ficha de resumen (Ver Anexo 5). Según [31], el análisis documental es un conjunto de operaciones que se representa en un documento donde se consulta y obtiene información a partir de datos recogidos de cualquier realidad, de manera selectiva, de modo que puedan ser útiles para el propósito del estudio; este instrumento se utilizó para recolectar datos de la dimensión almacenamiento y personal, por último, la observación describe la realidad y el contexto de la investigación y consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos o conductas que se manifiestan; por lo tanto, con este instrumento se recolectó datos de la dimensión tiempo.

Por otra parte, para validar los instrumentos de recolección de datos (cuestionario, ficha de observación y ficha de resumen) que se utilizaron en la investigación, se cuenta con el apoyo de juicio de expertos (Ver Anexo 6) quienes proceden a evaluar de manera objetiva e imparcial cada uno de los instrumentos utilizados para la recolección de datos, de esta forma se analizó y se reflejó la utilidad de los instrumentos. Para determinar la consistencia o confiabilidad de los indicadores de la variable independiente se utilizó el coeficiente alfa de Cronbach el cual alcanzó 0.832 (Ver Anexo 8) el mismo que indica que la confiabilidad es buena. Para el procesamiento de datos se utilizó el software IBM SPSS en su versión gratuita de 30 días, el mismo que permite crear informes tabulares y gráficos. Por otra parte, para analizar los datos de los indicadores de la variable dependiente se utiliza T-Student.

Así mismo, se describe el procedimiento de recolección de datos para las dimensiones que se aborda en la investigación, para las dimensiones de la variable independiente (usabilidad, funcionalidad y fiabilidad) se aplicó un cuestionario dirigido a expertos<sup>123</sup>

---

<sup>1</sup> [https://ctivitae.concytec.gob.pe/appDirectorioCTI/VerDatosInvestigador.do?id\\_investigador=82880](https://ctivitae.concytec.gob.pe/appDirectorioCTI/VerDatosInvestigador.do?id_investigador=82880)

<sup>2</sup> [https://ctivitae.concytec.gob.pe/appDirectorioCTI/VerDatosInvestigador.do?id\\_investigador=411542](https://ctivitae.concytec.gob.pe/appDirectorioCTI/VerDatosInvestigador.do?id_investigador=411542)

<sup>3</sup> <https://web.facebook.com/ghanier.mirandareyes>

(ver Anexo 3) que conocen sobre sistemas de control y adquisición de datos con radioenlaces, dicho instrumento consta de 20 preguntas con una escala de Likert de 0 - 5 para evaluar la calidad del sistema propuesto; cabe mencionar el cuestionario se aplicó a los expertos previo consentimiento, indicando que la información solamente será usada para el desarrollo del proyecto.

De igual manera, para recolectar los datos de las dimensiones (almacenamiento y personal ) se utilizó una ficha resumen (Ver Anexo 5), con la finalidad de obtener información registrada sobre la cantidad de reboses que hubo durante los días de una semana y cantidad de operarios laborando en un mes, para ello se solicitó a los encargados del abastecimiento de agua potable la información registrada, la cual fue proporcionada en un cuaderno de apuntes donde detalla la cantidad de reboses por día, cantidad de agua potable perdida por reboses al día y cantidad de operarios laborando, de igual forma se mencionó a los encargados del abastecimiento, que la información brindada solo será usada para análisis de la presente solución.

Por último, para recolectar información sobre la dimensión tiempo, se observó en un cronómetro el tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta el reservorio principal, para luego registrarlo en una ficha de observación (ver anexo 4); de esta manera se registra información necesaria para confirmar o rechazar las hipótesis planteadas en la investigación.

### **3.1.1 Metodología de desarrollo de la solución**

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó la metodología en cascada, según [33], esta tiene un enfoque coherente, sistemático y secuencial para la planificación y gestión de un proyecto, donde se planifica de principio a fin, dividiendo en fases secuenciales, que deben completarse en un orden determinado para lograr los resultados, entonces para la implementación del sistema SCADA con radioenlaces se siguió los siguientes pasos: análisis del proyecto, diseño, programación, implementación y por último realizar las pruebas (figura 7 adaptada de [33]), de esta manera se cumple los plazos establecidos y culminar el proyecto de investigación, así mismo este modelo enfatiza que se culmine cada tarea para poder comenzar con la siguiente, esto garantiza que el proyecto se mantenga encaminado y que la comunicación sea clara durante el proceso.

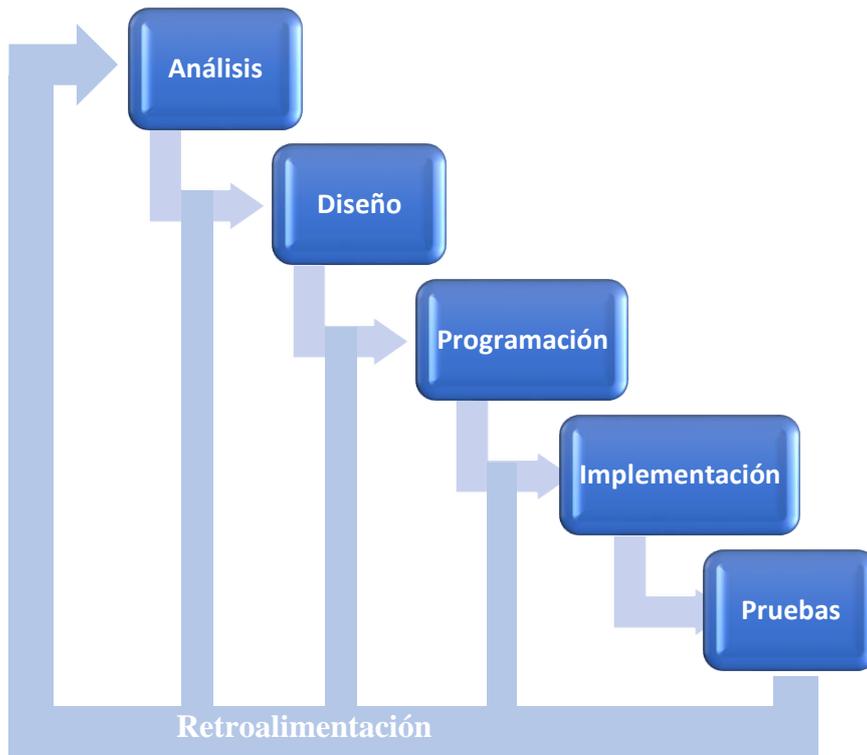


Fig. 7: Jerarquía de la metodología en cascada.

Un punto importante al utilizar esta metodología es la calidad del proyecto, cumpliendo con la seguridad, integridad y fiabilidad, ya que sigue secuencialmente cada etapa, terminando una para empezar con la siguiente, de esta manera satisfaciendo todas las expectativas de los operarios o quien interactúe con él, así mismo teniendo en cuenta la satisfacción de todos los requerimientos del sistema como la información, reportes y alarmas que genera el sistema, etc.

### 3.1.1.1 Análisis de radioenlaces

Antes de empezar con el diseño de los radioenlaces y del sistema de control, se realizaron visitas a las instalaciones de todas las estaciones y al reservorio principal con la finalidad de registrar las coordenadas geográficas, evaluar la ubicación de las antenas, analizar la topografía del terreno y poder realizar el diseño y simulación de los radioenlaces, de esta manera cumplir con la calidad de servicio, escalabilidad y seguridad en la transferencia de datos, adicionalmente, observar la condición de trabajo que los operadores encargados de monitoreo realizan y registrar los requerimientos que ellos puedan tener. Con la implementación de los radioenlaces, todos los componentes del sistema SCADA podrán enviar y recibir datos, con lo cual

los operadores pueden recopilar y registrar información en tiempo real del llenado del reservorio.

### **3.1.1.2 Diseño de radioenlaces**

Para visualizar en tiempo real el llenado de los tanques de todas las estaciones y del reservorio principal, es importante diseñar e implementar radioenlaces que faciliten centralizar la información recolectada por los controladores lógicos programables en una sola estación de manera confiable y eficiente. Para tener información acerca de la ubicación geográfica y las coordenadas, se hace uso del programa Google Earth y para simular la red, ver el funcionamiento y factibilidad del radioenlace que se va a implementar, se hace uso del software libre Radio Mobile sin embargo no es el único que permita simular, también existen otros como LINKPlanner, etc., Radio Mobile tiene excelente alcance y cobertura, calidad de audio mejorada, comunicación instantánea y grupal, y mayor durabilidad, opera utilizando la información digital del terreno y las características de alguna antena para simular las transmisiones de radio entre los sitios fijados, evaluando obstáculos en la línea de vista. Entonces, en el desarrollo de la presente tesis ayuda a simular la existencia de línea de vista de las 4 estaciones y el reservorio principal, así mismo medir la altura aproximada que se debe montar cada equipo para estar en el rango de niveles de recepción y transmisión adecuados. Por otra parte, Radio Mobile permite tener una idea de las características de equipos para seleccionar en la implementación de un proyecto.

Además, la topología que se utilizó para la solución es punto a punto, centralizando los puntos de acceso o las distintas estaciones (estación 1, estación 2, estación 3, estación 4 y reservorio principal) a la torre estación base, sin embargo, por la falta de visibilidad entre la torre estación base y la estación 2 se instaló un equipo repetidor que permite la comunicación entre la torre y la estación 2. Además, para la simulación de los radioenlaces se utiliza las características de los equipos que pertenece a la marca Cambium Networks y modelo ePMP Force 300 operando en la banda libre de 2.4 GHz y 5 GHz.

La tabla IV muestra las coordenadas geográficas de la torre estación base, reservorio y las estaciones.

*Tabla IV: Coordenadas de la torre, estaciones y reservorio*

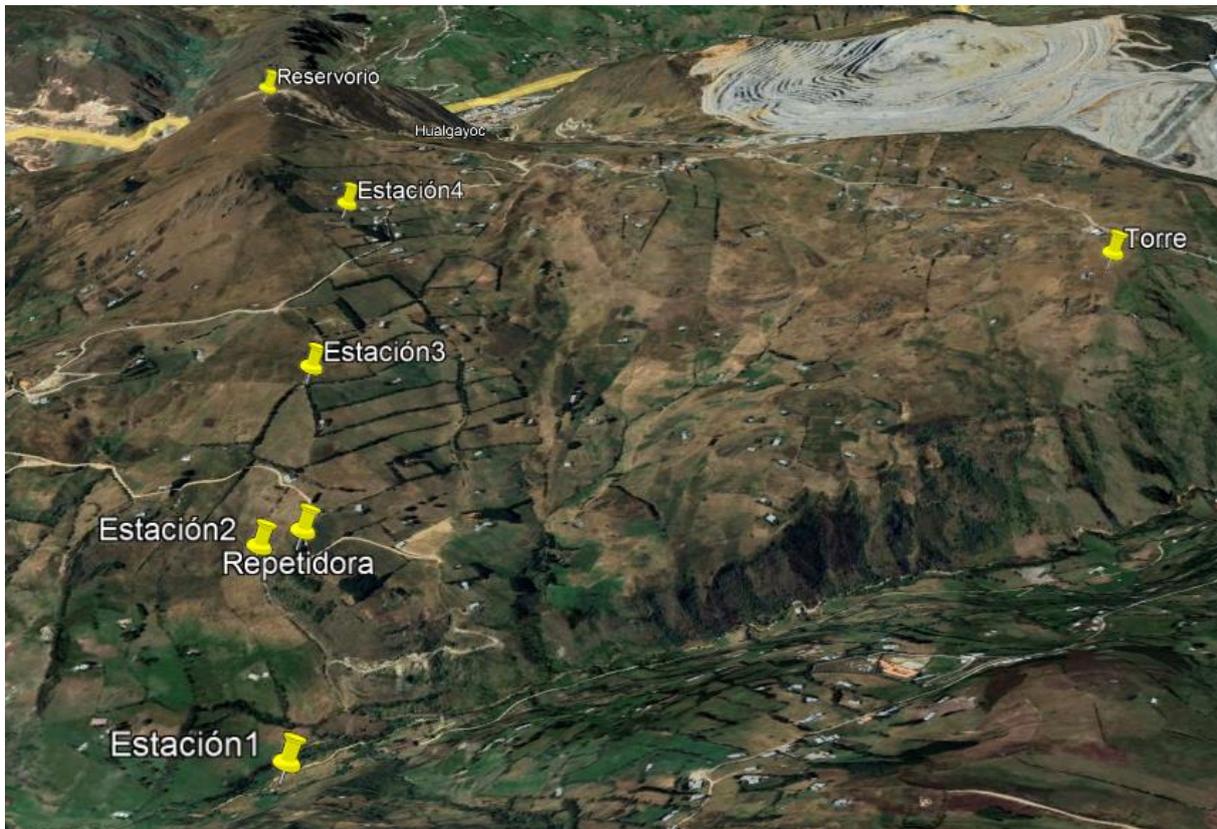
<b>Nombre</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
Torre	6°44'59.00"S	78°37'40.39"O
Reservorio	6°45'12.79"S	78°36'27.76"O
Estación N°4	6°44'55.68"S	78°36'45.23"O
Estación N°3	6°44'36.65"S	78°36'53.18"O
Equipo intermediario	6°44'22.97"S	78°37'0.62"O
Estación N°2	6°44'21.72"S	78°36'58.52"O
Estación N°1	6°44'8.43"S	78°37'8.26"O

La tabla V muestra la distancia que existe entre la torre estación base a las distintas estaciones y al reservorio principal.

*Tabla V: Distancia entre torre, estaciones y reservorio.*

<b>Lugar</b>	<b>Distancia (Km)</b>
Torre - Reservorio	2.27
Torre - Estación N°4	1.7
Torre - Estación N°3	1.61
Torre - Equipo intermediario	1.65
Equipo intermediario- Estación N°2	0.075
Torre - Estación N°1	1.84

La figura 8 muestra la ubicación geográfica de cada estación y de la torre estación base, donde se colocarán las antenas receptoras y antenas transmisoras respectivamente, el software que se utilizó para ubicar los puntos es Google Earth.



*Fig. 8: Ubicación geográfica de la torre, estaciones y reservorio principal*

### **Radioenlace entre torre y reservorio principal**

De igual forma, la figura 9 muestra la simulación del radioenlace entre la torre y el reservorio principal, para esta simulación se utilizó el programa Radio Mobile y equipos de la marca Cambium Networks Force 300/25, esta antena tiene una ganancia de 25 dBi, un rango de frecuencias de 4910 y 6080 MHz, así mismo, para lograr una línea de vista sin interferencia se simuló la antena transmisora a 22 metros y la antena receptora a 8 metros, así logrando un peor Fresnel de 7,8 F1, un ángulo de azimut de 100.84 grados, además un nivel de recepción de -30.7 dBm entonces de esta forma se garantiza que la implementación física sea correcta.

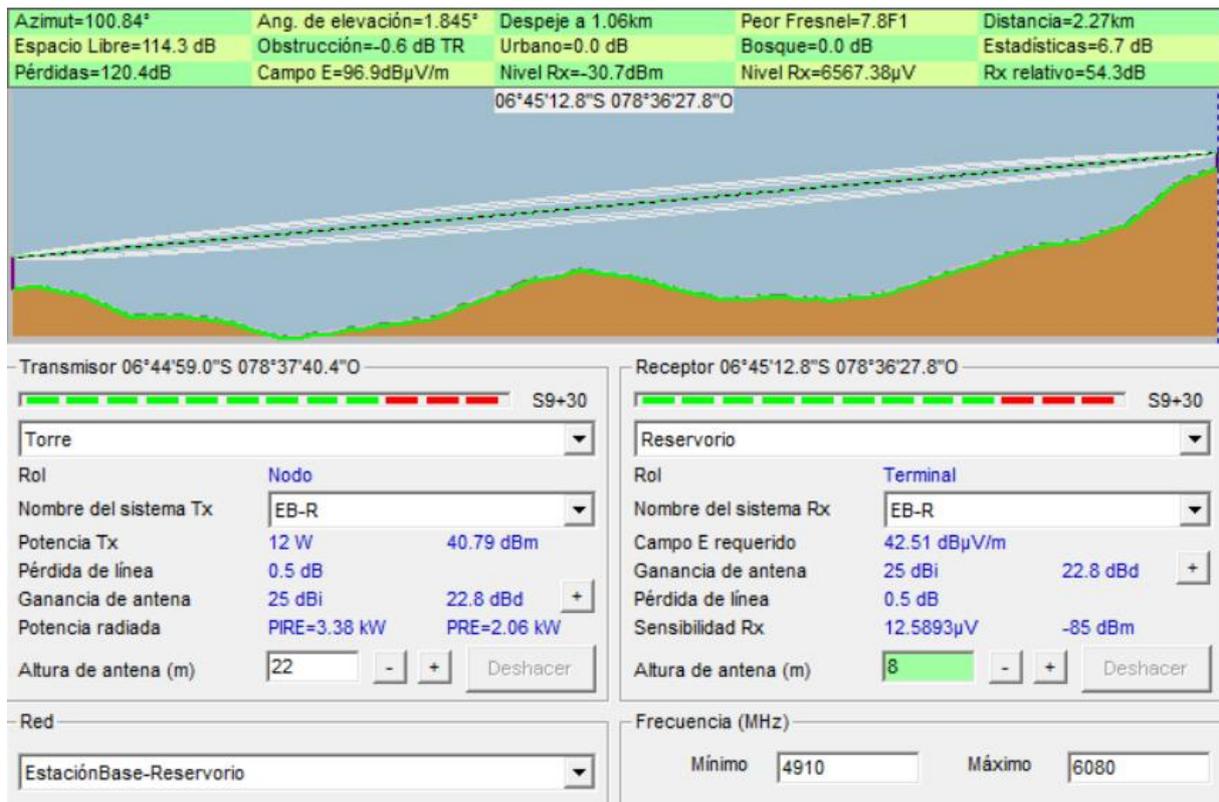


Fig. 9: Radioenlace entre torre y reservorio principal.

#### Radioenlace entre torre y estación N°4

En la figura 10 se observa la simulación del radioenlace entre la torre y la estación cuatro, ambos puntos están alejados 1.70 kilómetros de distancia, el equipo transmisor está montado a 23 metros del nivel del piso y el equipo receptor está a 8 metros, cada antena tiene una ganancia de 25 dBi y un rango de frecuencia de 4910-6080 MHz, la simulación valida que existe una línea de vista entre transmisor y receptor, con peor Fresnel de 13.4 F1, con un azimut de 86.53 grados y un nivel de recepción de -28.9 dBm.

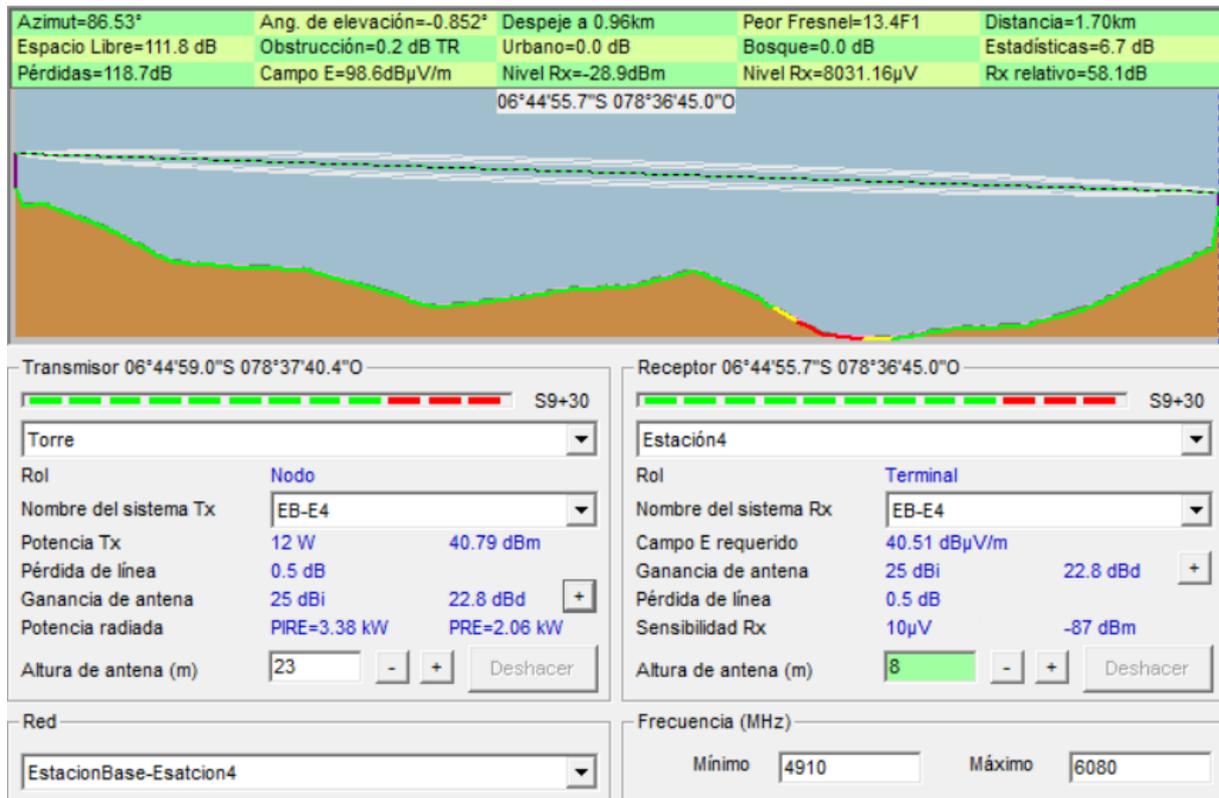


Fig. 10: Radioenlace entre la torre y la estación N°4.

### Radioenlace entre torre y estación N°3

En la figura 11 se observa la simulación del radioenlace entre la torre y la estación tres, ambos puntos están alejados 1.60 kilómetros de distancia, el equipo transmisor está montado a 24 metros del nivel del piso y el equipo receptor está a 8 metros, cada antena tiene una ganancia de 25 dBi y un rango de frecuencia de 4910-6080 MHz, la simulación valida que existe una línea de vista entre transmisor y receptor, con peor Fresnel de 17.8 F1, con un azimut de 64.50 grados y un nivel de recepción de -28.24 dBm.

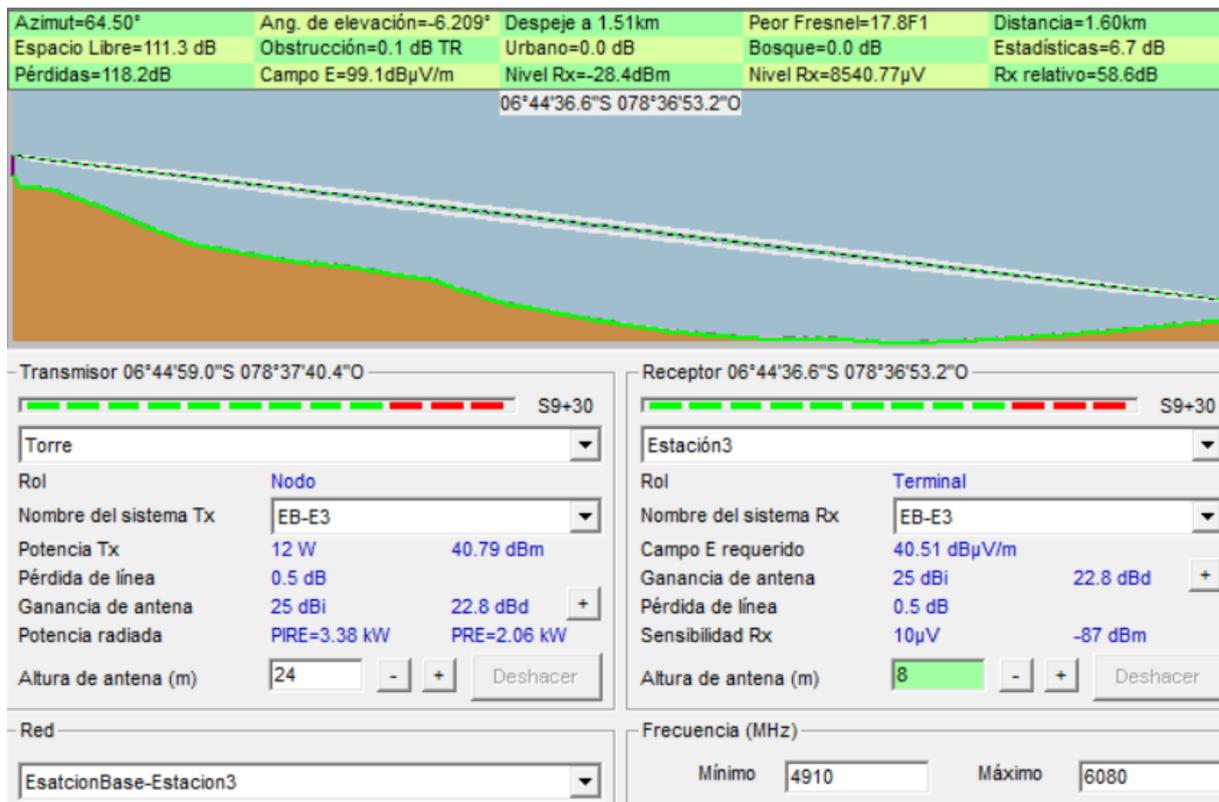


Fig. 11: Radioenlace entre la torre y la estación N°3.

### Radioenlace entre torre y estación N°2

Entre la torre y la estación 2 no existe línea de vista por los obstáculos que existe en la zona geográfica, ante esto se implementa en un lugar estratégico una antena repetidora para comunicar la torre con la estación 2, de esta manera tener comunicación. En la figura 12 se observa la simulación entre la torre y la antena repetidora que están ubicados a 1.65 kilómetros de distancia, el quipo transmisor está montado a 25 metros del nivel del piso y el equipo receptor está a 8 metros, las antenas tienen 25 dBi de ganancia y un rango de frecuencia de 4910-6080 MHz, entonces simulando se verifica que existe línea de vista entre ambos equipos con un peor Fresnel de 13.5 F1, azimut de 47,62 grados y un nivel de recepción de -25.7 dBm.

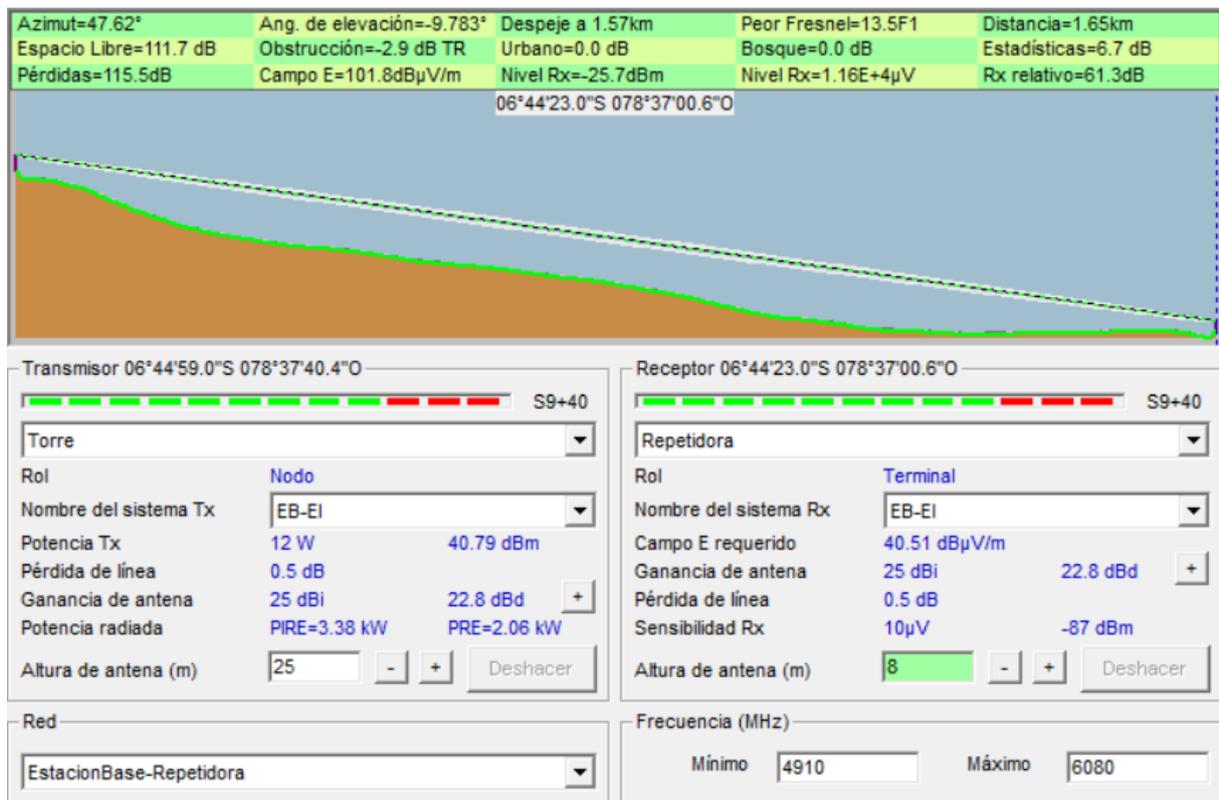


Fig. 12: Radioenlace entre la torre y la repetidora.

Así mismo, en la figura 13 se observa la simulación entre la antena repetidora y la estación 2, están ubicadas a 70 metros de distancia, la repetidora está montada a 8 metros del nivel del piso y la receptora está a 8 metros, las antenas tienen 25 dBi de ganancia y un rango de frecuencia de 4910-6080 MHz, entonces simulando se verifica que existe línea de vista entre ambos equipos con un peor Fresnel de 31.3 F1, azimut de 58.78 grados y un nivel de recepción de -2.1 dBm.

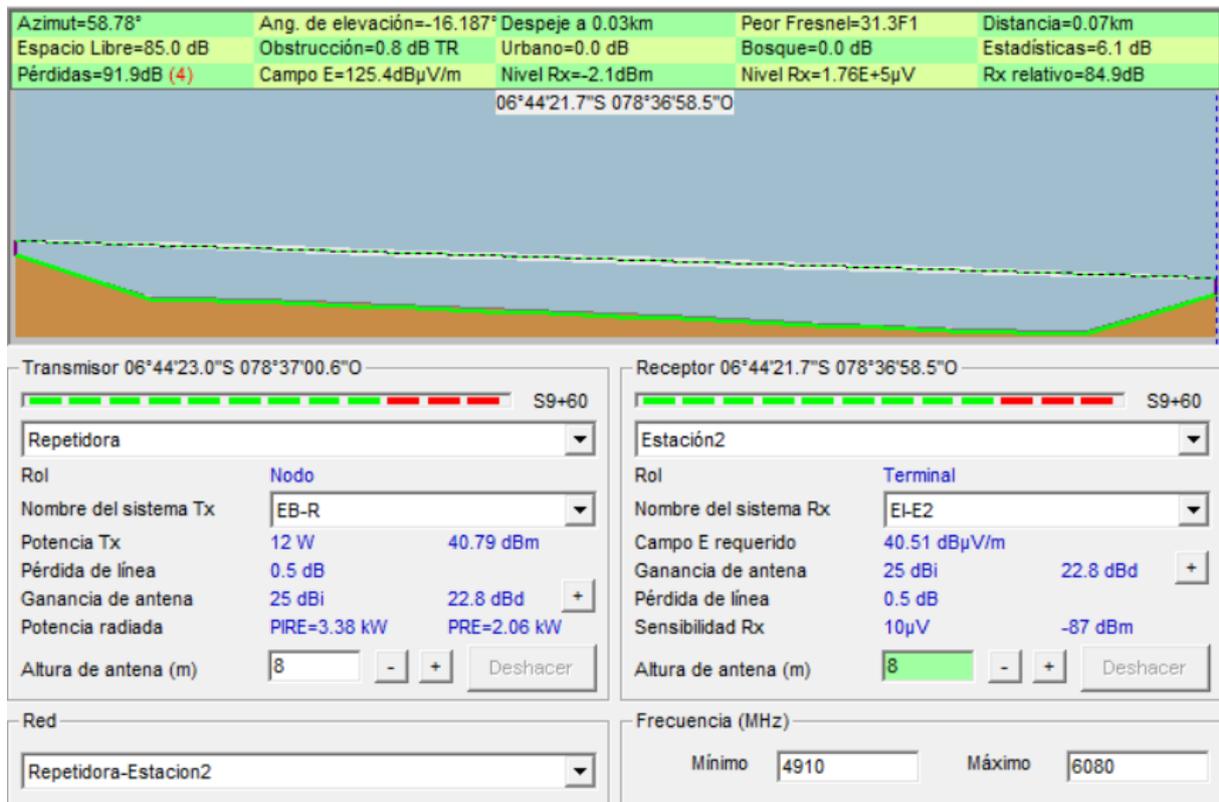


Fig. 13: Radioenlace entre la repetidora y estación N°2.

### Radioenlace entre torre y estación N°1

La figura 14 muestra la simulación del radioenlace entre la torre y la estación 1, ambos puntos están a 1.85 kilómetros de distancia, la antena transmisora está montada a 26 metros del nivel del piso y la receptora a 8 metros, las antenas tienen 25 dBi de ganancia y un rango de frecuencia de 4910-6080 MHz, simulando se verifica que existe una línea de vista entre ambos equipos con un peor Fresnel de 9.1 F1, azimut de 42.24 grados y un nivel de recepción de -27.9 dBm.

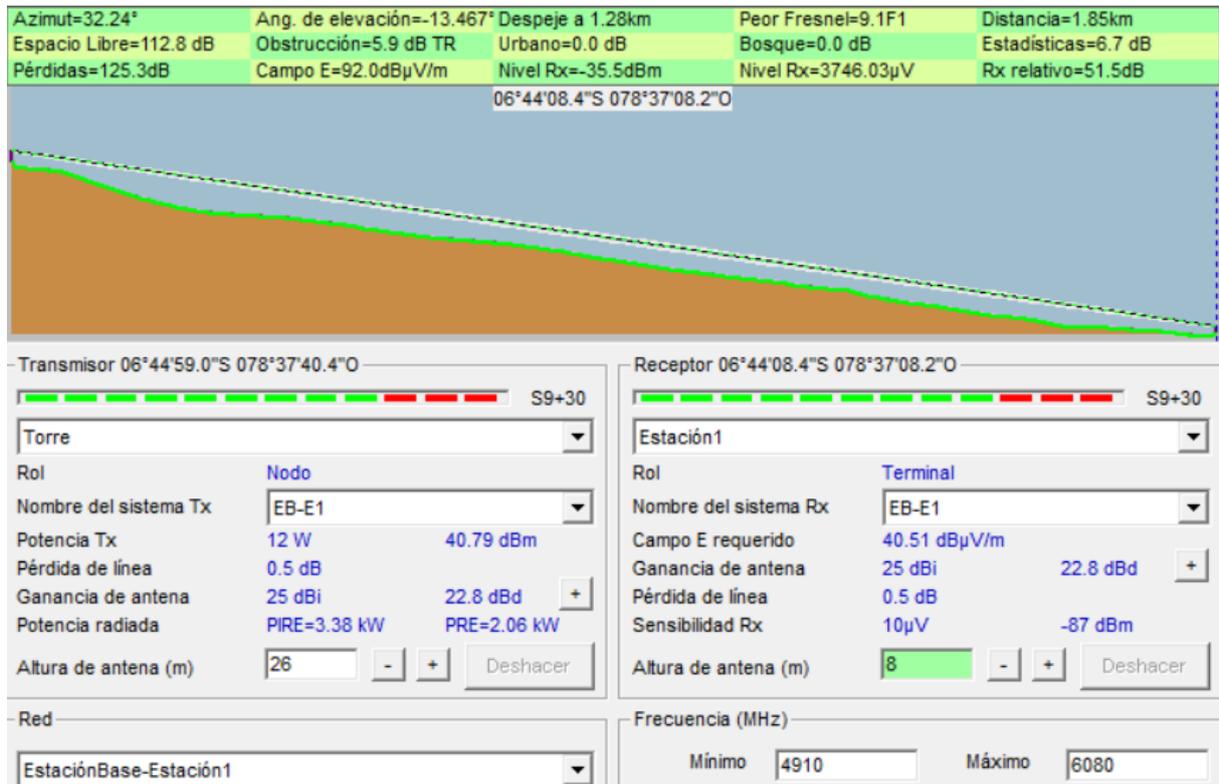


Fig. 14: Radioenlace entre la torre y la estación N°1

La figura 15 muestra la factibilidad y línea de vista de todos los radioenlaces simulados en el programa Radio Mobile y exportado a Google Earth, de esta forma tener una mejor información al momento de implementar la solución.

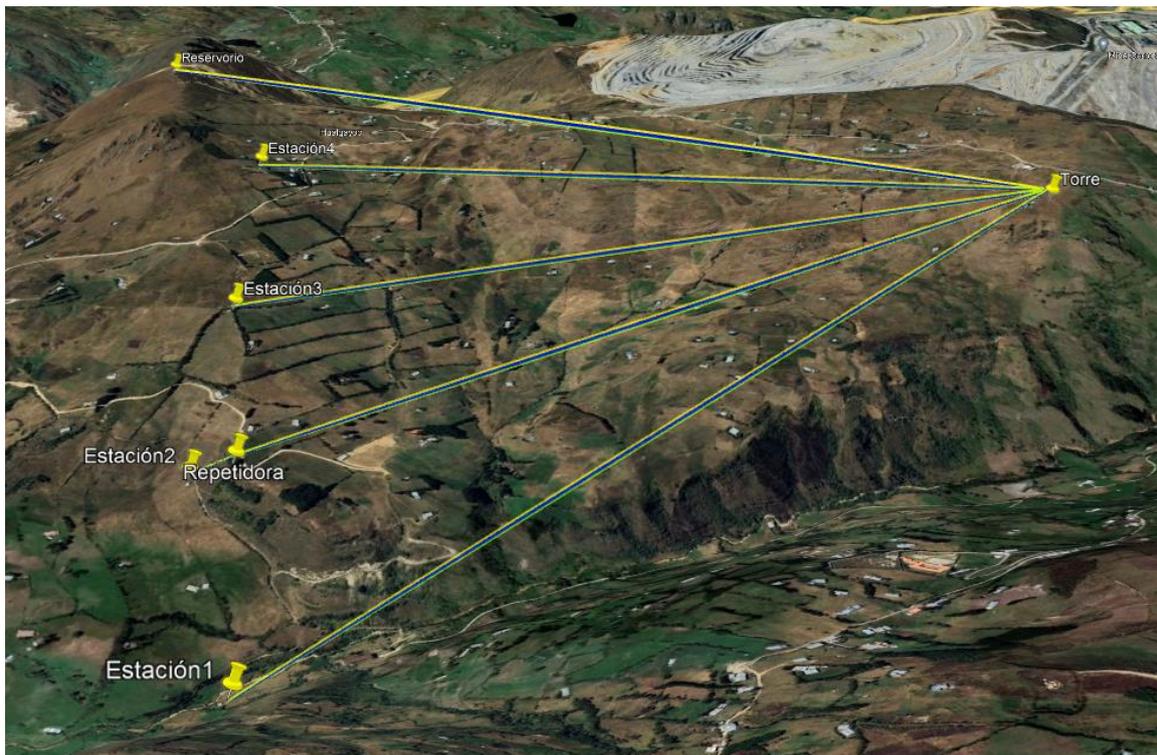


Fig. 15: Radioenlaces entre la torre, estaciones y reservorio principal.

## Diseño Lógico de los radioenlaces

La red de comunicación inalámbrica se diseñó utilizando el protocolo TCP/IP (Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet) el cual permite tener una comunicación eficiente entre dispositivos, además para la solución se utilizó un protocolo de internet de clase C (ver tabla VI).

Red: 192.168.5.0
Máscara de subred: 255.255.255.0
Asignación de IP: 192.168.5.x
Donde X puede tomar cualquier valor de 2 a 254.

Tabla VI: Distribución de IP a cada equipo del radioenlace

Radioenlace	IP	Nombre	Descripción
Torre -Reservorio	192.168.5.22	Reservorio	Receptor (Rx)
	192.168.5.21	Torre Estación Base	Transmisor (Tx)
Torre-Estación N°4	192.168.5.20	Estación N°4	Receptor (Rx)
	192.168.5.19	Torre Estación Base	Transmisor (Tx)
Torre-Estación N°3	192.168.5.18	Estación N°3	Receptor (Rx)
	192.168.5.17	Torre Estación Base	Transmisor (Tx)
Equipo Intermediario- Estación N°2	192.168.5.16	Estación N°2	Receptor (Rx)
	192.168.5.15	Equipo intermediario	Transmisor (Tx)
Torre-Equipo intermediario	192.168.5.14	Equipo intermediario	Receptor (Rx)
	192.168.5.13	Torre Estación Base	Transmisor (Tx)
Torre-Estación N°1	192.168.5.12	Estación N°1	Receptor (Rx)
	192.168.5.11	Torre Estación Base	Transmisor (Tx)

Por otra parte, la figura 16 (de elaboración propia) muestra la topología de red de comunicaciones, simulando las antenas trasmisoras en la torre estación base y antenas receptoras en cada estación, así mismo, se observa la asignación lógica de direcciones IP a cada equipo de la red inalámbrica de radioenlaces.

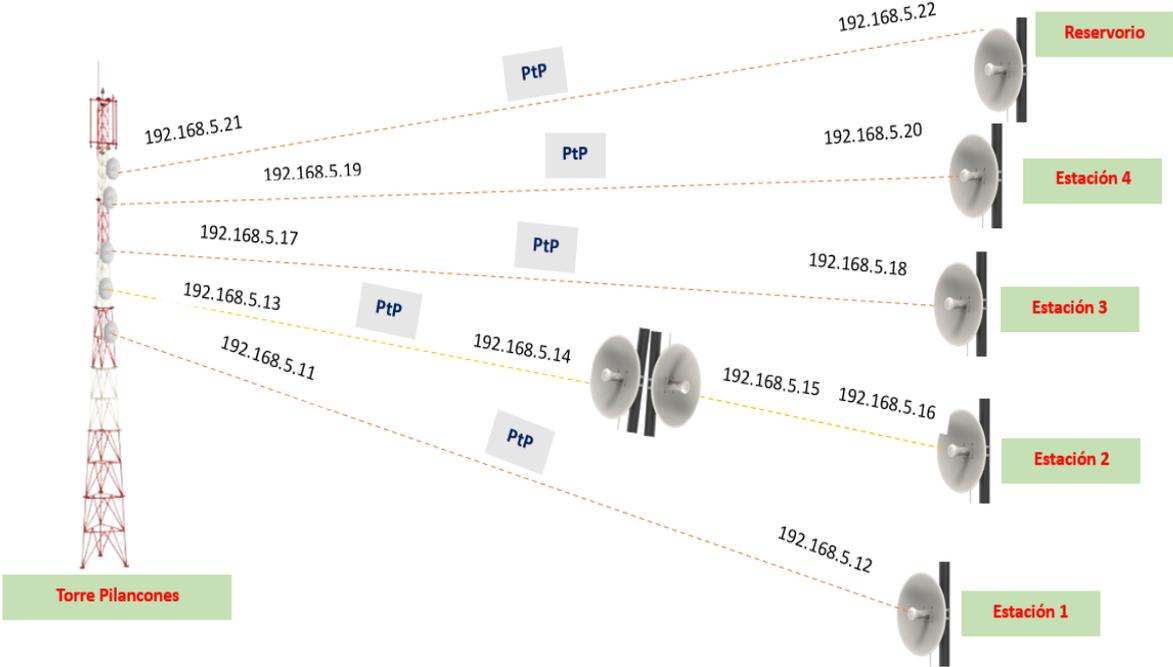


Fig. 16: Diagrama lógico de conexiones de radioenlaces.

### Selección de equipos

Para la implementación de los radioenlaces en el presente proyecto se seleccionó diferentes equipos con características relevantes que cubran los requerimientos del sistema. A continuación se describe los tipos de equipos, switch de la marca Siemens modelo SCALANCE XB008 (Figura 17) con una transferencia de datos de 10 Mbit/s - 100 Mbit/s, excelente para configurar pequeñas redes con topologías en estrella y en línea, tiene diagnóstico LED, IP20, 24 V AC/DC fuente de alimentación, cuenta con 6 puertos RJ45, estos dispositivos son muy importantes para la creación de la red porque permite integrar los diferentes equipos del sistema, además conectan los controladores, panel HMI de cada estación mediante cable UTP categoría 6A.



*Fig. 17: Switch industrial 6GK5005-0BA00-1AB2*

Así mismo, la antena que se utilizó para implementar los radioenlaces en la solución del proceso de abastecimiento de agua potable, es de la marca Cambium Networks modelo ePMP™ Force 300-25 (Figura 18). Estos aparatos poseen características que facilitan una comunicación efectiva entre puntos conectados, incorpora tecnología 802.11ac, están diseñados para trabajar en ambientes de alta interferencia, incluye una antena reflectora incorporada de 25dBi, y posee beneficios frente a otras marcas, por ejemplo, tiene una potencia de transmisión de 600 Mbps a distancias que van de 5 a los 15 km, ganancia de antena más alta, diseño más robusto para una mayor confiabilidad, alta escalabilidad y desempeño consistente, puede trabajar en canales de 20|40|80 Hz, rango de frecuencia de 4910-6080 MHz, resistente a los cambios climáticos, tiene la tecnología MIMO (doble polarización vertical y horizontal), con una sensibilidad de recepción nominal de -85 dBi, además estos equipos trae su fuente de alimentación de 30 VAC, así mismo su conexión final es con cable de red ethernet.



*Fig. 18: ePMP™ Force 300-25*

### **3.1.1.3 Implementación de radioenlaces**

En este apartado se describe cada actividad de la implementación de los radioenlaces, desde el montaje de equipos hasta el funcionamiento de la red siguiendo el paso a paso del diseño lógico realizado y analizado en el software Radio Mobile y Google Earth.

Por lo tanto, en la figura 19 se observa el montaje de cada uno de los equipos de radioenlace en la torre estación base, considerando la altura y especificaciones técnicas simuladas en el programa Radio Mobile para lograr una óptima línea de vista y la primera línea de Fresnel libre de obstáculos que pueda perjudicar la comunicación entre transmisor y receptor.



*Fig. 19: Fijación del equipo ePMP™ Force 300-25*

Por otra parte, la figura 20 muestra el montaje de todos los equipos Force 300-25 en la torre estación base, ubicados a la altura simulada en Radio Mobile y orientados a cada equipo receptor de las estaciones y en el reservorio principal.



*Fig. 20: Montaje de equipos en torre.*

De la misma manera, la figura 21 muestra el montaje de la antena receptora en el poste de la estación 1, el mismo se realizó a la misma altura que se simuló en el software Radio Mobile, dándole una orientación e inclinación con línea de vista al equipo transmisor que está ubicado en la torre principal.



*Fig. 21: Montaje de receptor en poste de estación N°1.*

Por otra parte, la figura 22 muestra el montaje de los equipos repetidores para la comunicación entre la torre y la estación 2, ambos equipos están instalados a una altura de 8 metros, la misma que se simuló en el software Radio Mobile, dándole una orientación a la torre y al equipo de la estación 2 de forma eficiente para tener una buena línea de vista.



*Fig. 22: Montaje de antenas repetidoras*

La figura 23 muestra el montaje del equipo receptor en la estación 2, el cual está direccionado hacia el equipo repetidor y que el mismo comunica con la torre principal.



*Fig. 23. Montaje de receptor en poste de estación N°2.*

La figura 24 muestra el montaje del equipo receptor en el poste del reservorio principal, además, se observa la orientación e inclinación correspondiente al equipo transmisor para lograr una línea de vista eficiente.



*Fig. 24. Montaje de receptor en poste del reservorio*

Por otra parte, la figura 25 muestra la conexión de todos los equipos transmisores a la fuente de energía que es alimentada con 30 VAC, además se observa la conexión al switch quien permite la integración de todos los equipos de los radioenlaces, de esta manera lograr la comunicación entre todos los equipos de la red, centralizando toda la información en la estación 1.



*Fig. 25: Conexión de Switch.*

#### **3.1.1.4 Análisis del sistema SCADA**

El sistema de control y adquisición de datos (SCADA), facilitará el monitoreo y visualización del proceso de abastecimiento de agua potable en tiempo real y de un solo lugar, esto es posible al uso de la red de radioenlaces que integra a las estaciones y al reservorio principal, observando en la interfaz todo el proceso de abastecimiento, además, se podrá obtener reportes sobre el tiempo de llenado del reservorio principal y alerta de alguna falla en los equipos. El abastecimiento de agua potable tiene 4 estaciones y el reservorio principal separadas una tras otra a una cierta distancia (figura 26, de elaboración propia), entonces en la estación 1 que se encuentra en la parte más baja de la comunidad de Pilancones, se colocará un tablero de control que albergará un controlador maestro y un HMI (touch panel), el cual recibe la información de los PLC remotos que están ubicados en las demás estaciones. En las estaciones 2, 3 y 4 se colocará un controlador lógico que recibe información de los sensores de nivel bajo y alto instalados en cada tanque, y el mismo que enviará esos datos al controlador maestro, adicionalmente, en el reservorio principal ubicado en la parte más alta de la comunidad, se colocará un sensor ultrasónico, el cual mide el nivel del reservorio y envía los datos al PLC instalado en su tablero y al mismo tiempo este PLC envía la información al controlador maestro.

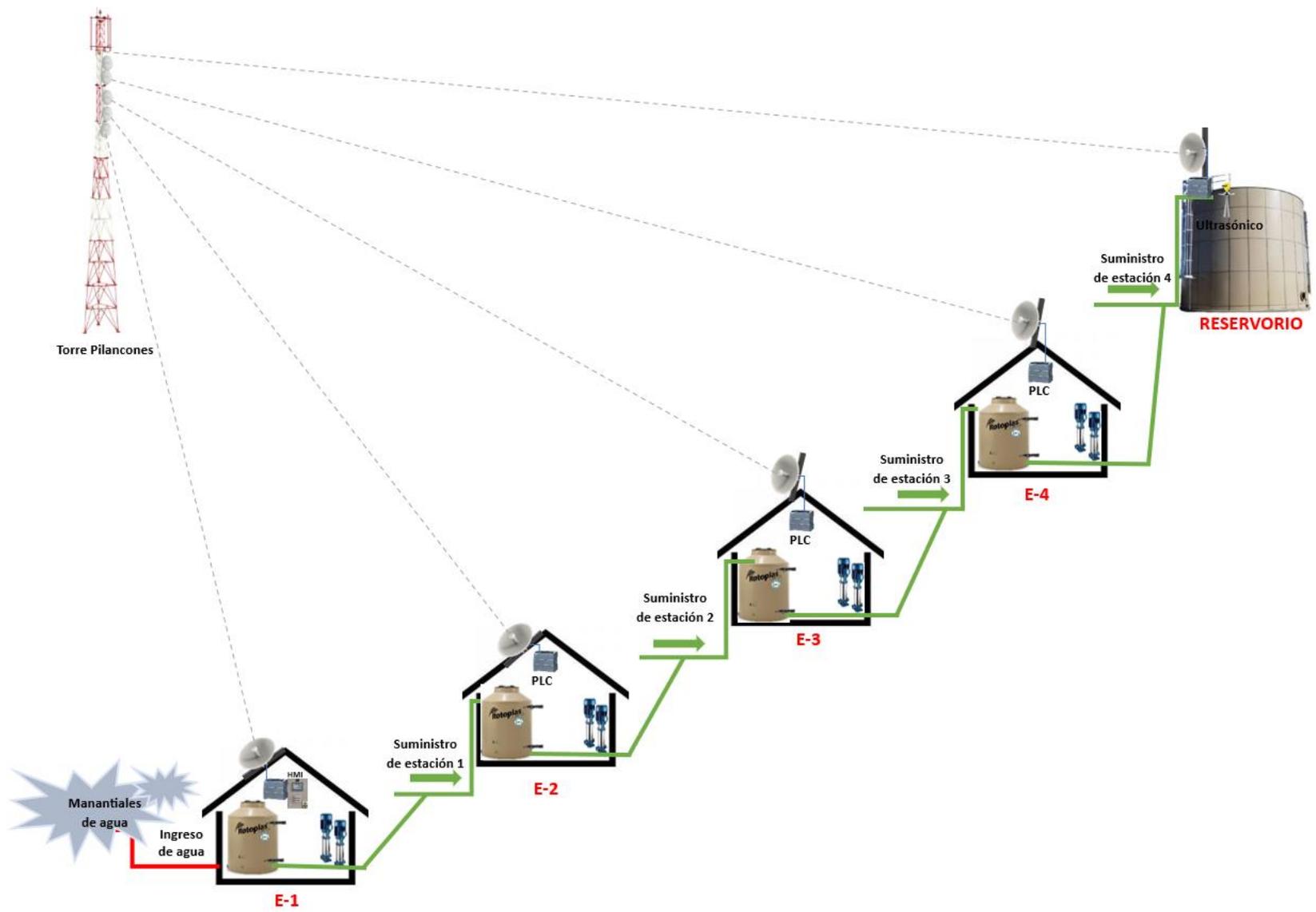


Fig. 26: Diagrama del sistema SCADA con radioenlaces

## **Modo de funcionamiento del sistema SCADA**

El sistema de control y adquisición de datos tiene la funcionalidad de llenar el reservorio de manera automática y manual. El funcionamiento automático se lleva a cabo de la siguiente forma: el agua de los manantiales ingresa al tanque de la estación 1, entonces una de las dos bombas instaladas de manera alternada se activa y bombea el agua al tanque de la estación 2, el tanque de la estación 2 tiene dos sensores digitales uno de nivel alto y otro de nivel bajo, una vez que el agua activa el sensor de nivel bajo se genera un temporizador con un tiempo que el operador haya digitado en la interfaz, después que se haya trascurrido ese tiempo automáticamente se activa una de las dos bombas que cuenta esta estación y bombea el agua a la estación 3, por consiguiente si el agua activa el sensor de nivel alto el sistema genera una alarma y luego se apaga la bomba de la estación anterior, de igual forma en la estación 3 el tanque cuenta con dos sensores digitales, uno de nivel bajo y otro de nivel alto, entonces cuando el agua activa el sensor de nivel bajo se activa el temporizador y luego que el tiempo haya trascurrido una de las dos bombas se activa para enviar el agua a la estación 4, de lo contrario, si el agua activa el sensor de nivel alto el sistema genera una alarma y desactiva la bomba anterior, así mismo, el tanque de la estación 4 tiene dos sensores digitales uno de nivel bajo y el otro de nivel alto que funcionan de la misma manera que en las otras estaciones. El reservorio general tiene una capacidad de 50 mil litros y en el mismo se instaló un sensor ultrasónico que mide el nivel de agua, si el tanque supera el 99% de su capacidad, la bomba de la estación 4 se apaga; si el reservorio cuenta con un nivel de agua menor 75%, la bomba de la estación 4 se activa. Así mismo, en modo automático el operador podrá elegir que bomba de cada estación se activa, podrá digitar un tiempo de activación de la bomba después que el agua activa el sensor del nivel bajo, podrá observar en tiempo real el porcentaje del llenado del reservorio principal, podrá visualizar si alguna bomba está fallando, podrá tener la visualización de todo el proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pílancones Hualgayoc

## Equipamiento del sistema SCADA

Para la implementación del sistema de control en el proceso de abastecimiento de agua potable de Pílancones, se utilizan controladores lógicos programables de la marca SIEMENS modelo SIMATIC S7-1200 6ES7212-1AE40-0XB0 (figura 27), tiene la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos de campo para distintas tareas de automatización, así mismo, tiene incorporado un microprocesador, memoria, circuitos de entrada y salida, red de comunicación RJ45. El controlador lógico se programa utilizando el software TIA PORTAL de la misma marca y el lenguaje LADDER, el cual ofrece funciones lógicas como escalamientos, comparadores, temporizadores, etc. Entonces para controlar todas las estaciones y el reservorio principal, se utiliza cinco controladores SIMATIC S7-120, todos ellos obtienen la información de los sensores de nivel y a través de la red de comunicación todos los datos se centralizan en la estación 1 donde se encuentra el PLC maestro y el HMI donde se puede visualizar en tiempo real todo el proceso de llenado de los tanques y reservorio principal.



*Fig. 27: Controlador lógico programable SIMATIC S7-1200.*

La tabla VII describe las características técnicas de los controladores lógicos programables de la marca reconocida SIEMENS SIMATIC S7-1200.

*Tabla VII: Características de controlador SIMATIC S7-1200.*

Tipo de producto	CPU 1212C DC/DC/DC
Número de serie	6ES7212-1AE40-0XB0
Versión de firmware	V4.6
Memoria de trabajo integrada	100 kbyte
Tensión de carga	20,4-28,8 VDC
Paquete de programación	STEP 7 V18 o superior
Alimentación de sensores	24 V DC
Consumo (valor nominal)	400 mA, solo CPU
Consumo máximo	1 200 mA, CPU y todos los módulos
N.º de entradas digitales	8 integrado
Reloj de hardware (en tiempo real)	Sí
N.º de salidas digitales	6
N.º de salidas analógicas	2
Protocolos de comunicación	Modbus TCP, Ethernet IP
PROFINET IO-Controller	Sí
Tiempos de ejecución de la CPU	0,08 µs

Un componente importante dentro de un sistema de control son los dispositivos de campo, para la solución ante los reboses que existe en el proceso de abastecimiento de agua potable se utiliza sensores digitales y analógicos, entonces, para medir el nivel de llenado de los tanques de cada estación se utiliza un sensor digital tipo flotador horizontal (figura 28) que indican el nivel mínimo y máximo de llenado del tanque. De la misma forma, en el reservorio principal se utiliza un sensor de nivel ultrasónico tipo radar de la marca VEGAPULS 61 (figura 29), el cual permite medir el nivel de agua emitiendo pulsos ultrasónicos y reflejados en la superficie del líquido.



*Fig. 28: Sensor de nivel tipo flotador horizontal.*

La tabla VIII describe las características técnicas del sensor tipo flotador horizontal.

*Tabla VIII: Características de sensor de nivel tipo flotante horizontal.*

Nombre del producto	Interruptor de flotación horizontal
Modelo	ZPC5 o EPC5
Corriente de conmutación máxima:	0.5 A
Diámetro del hilo de rosca (Aprox.):	16mm / 0.63"
Longitud de cable	40 cm
Material	Plástico, PP



Fig. 29: Sensor ultrasónico VEGAPULS 61.

La tabla IX describe las características técnicas del sensor VEGAPULS61

Tabla IX: Características del sensor ultrasónico VEGAPULS.

Rango de medición – Distancia	5cm -15 metros
Precisión	± 2 mm
Temperatura de proceso	-40...80 °C
Versión	Antena tipo corneta 80 mm
Material de la carcasa	Plástico, aluminio y acero inoxidable
Tipo de protección	IP66/IP68(0,2bar)
Alimentación	4-20 mA

Para visualizar todo el proceso de abastecimiento de agua potable, los niveles de llenado de los tanques de las estaciones y el reservorio principal se utiliza una interfaz hombre maquina (HMI) de la marca SIEMENS modelo 6AV2123-2GB03-0AX0 (figura 30), este dispositivo permite que el operador pueda interactuar con el sistema en tiempo real.



Fig. 30: HMI 6AV2123-2GB03-0AX0.

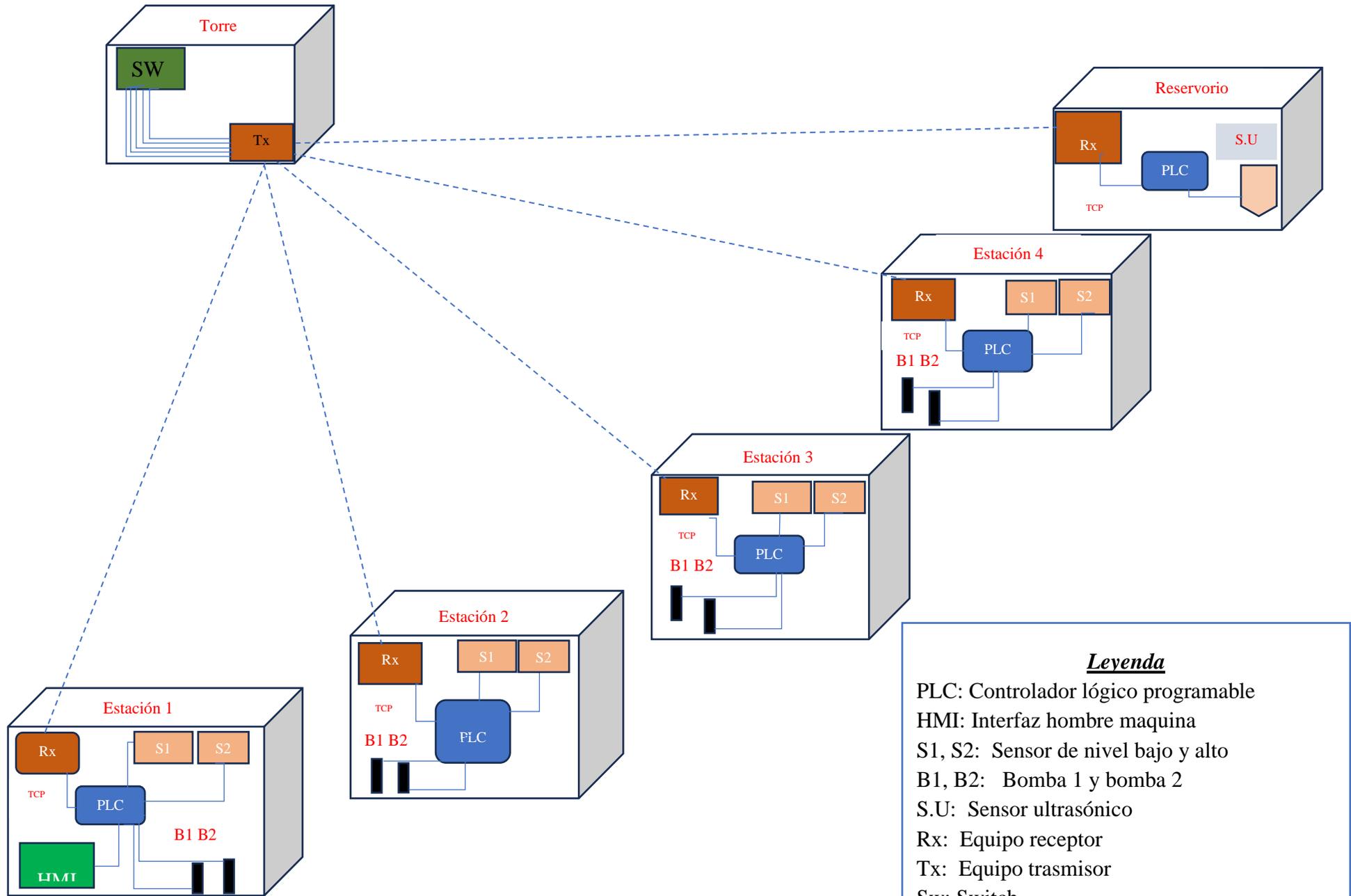
La tabla X describe las características técnicas de la interfaz hombre maquina SIMATIC SIEMENS.

Tabla X: Características del HMI SIEMENS.

Resolución de imagen horizontal	800 pixel
Resolución de imagen vertical	480 pixel
Número de colores	65536
Altura	85.9 mm
Anchura	154.1 mm
tamaño	7"
Número de teclas de función	8
Posición de montaje	Vertical
Máx. ángulo de inclinación permitido sin ventilación externa	35°
Tipo de tensión de la alimentación	24VDC
Protocolo	PROFINET

### **3.1.1.5 Diseño del sistema SCADA**

El sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces está compuesto por hardware y software; dentro del hardware, la estación 1 alberga un controlador de la marca Siemens modelo S7-1200 el cual recibe y envía información a los controladores ubicados en las otras estaciones, gracias a la instalación de la red de radioenlaces, así mismo, a través de su interfaz de entrada recibe información de los sensores digitales de nivel bajo y nivel alto lo cual interpreta y ordena el encendido o apagado de las bombas, las mismas que impulsan el agua a la siguiente estación, así mismo, por su tarjeta de red secundaria conecta a la pantalla HMI marca siemens lo cual facilita al usuario poder interactuar y visualizar el proceso en tiempo real , por otro lado, en la estación 2 también tiene un PLC de la marca Siemens el cual a través de su módulo de entrada recibe información de los sensores digitales y el cual interpreta y ordena el prendido u apagado de las bombas de forma alternada, y de la misma forma por su puerto de comunicación conecta hacia el equipo receptor de la red; en la estación 3 y 4 el equipamiento y funcionamiento es de la misma manera que en la estación 2, consecuentemente en el reservorio principal se instaló un controlador marca Siemens y adicionalmente se le agregó módulos de entradas y salidas analógicas lo que permite recibir información del sensor ultrasónico el cual mide el nivel de agua mediante ondas ultrasónicas, entonces este controlador lee, normaliza y escala a valores que puedan ser enviados al controlador de la estación 1. La comunicación en la red inalámbrica se realiza con equipos de la marca Cambium Network forcé 300 el cual en cada estación se instaló un receptor y en la torre principal se instaló los 5 trasmisores los mismos que van conectados a un switch, entre el transmisor y receptor se tiene en cuenta que haya línea vista y la primera línea de Fresnel esté libre de interferencias. Por otra parte, dentro del software se utiliza TIA Portal propio de la marca Siemens, el mismo que usa el lenguaje Ladder, este software facilita la programación de todo tipo de controlador siemens y también pantallas HMI.



**Legenda**

PLC: Controlador lógico programable  
HMI: Interfaz hombre maquina  
S1, S2: Sensor de nivel bajo y alto  
B1, B2: Bomba 1 y bomba 2  
S.U: Sensor ultrasónico  
Rx: Equipo receptor  
Tx: Equipo transmisor  
Sw: Switch

Desarrollando el diseño en el software TIA PORTAL se representa, la figura 31 representa el diseño de la comunicación de cada estación y el reservorio principal con la torre, con la finalidad de observar el buen funcionamiento de la red inalámbrica, si el color de cada círculo es verde, indica que existe comunicación entre todos los controladores del proceso de abastecimiento de agua potable; sin embargo, si el color es blanco, aun no se produce comunicación o el equipo se encuentra en mal estado.

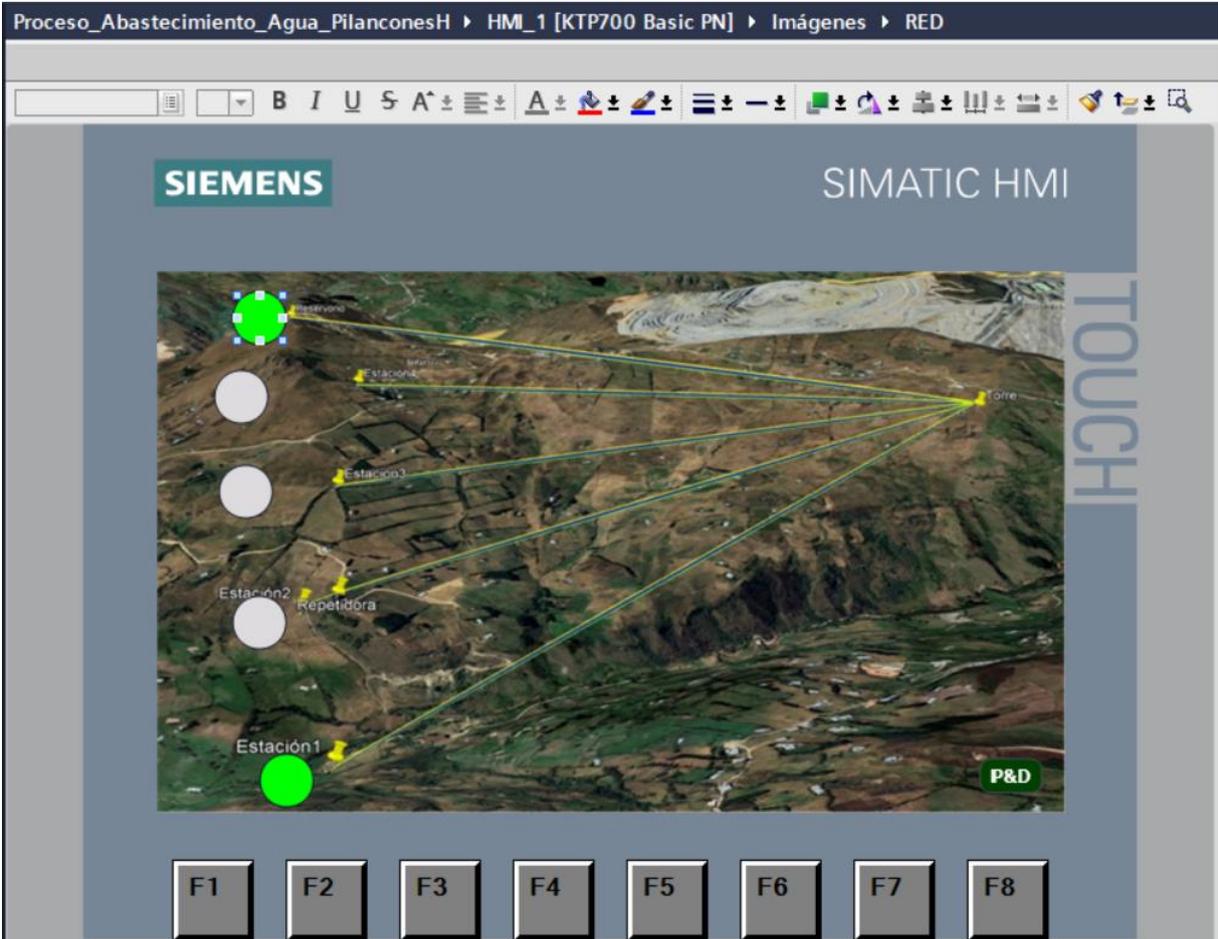


Fig. 31: Diseño del funcionamiento de la red.

Por otra parte, la figura 32 muestra el esquema general del diseño del proceso de abastecimiento de agua potable para la comunidad de Pilancones (P&D), simulando cada estación de bombeo y el reservorio principal. Además, se incluyen los botones de automático, manual, iniciar y parar el sistema, también una leyenda donde se describe el estado de cada bomba (parada, activa y en falla), así mismo, se observan botones que permiten abrir una nueva vista como red, estación 1, estación 2, estación 3, estación 4 y reservorio principal.

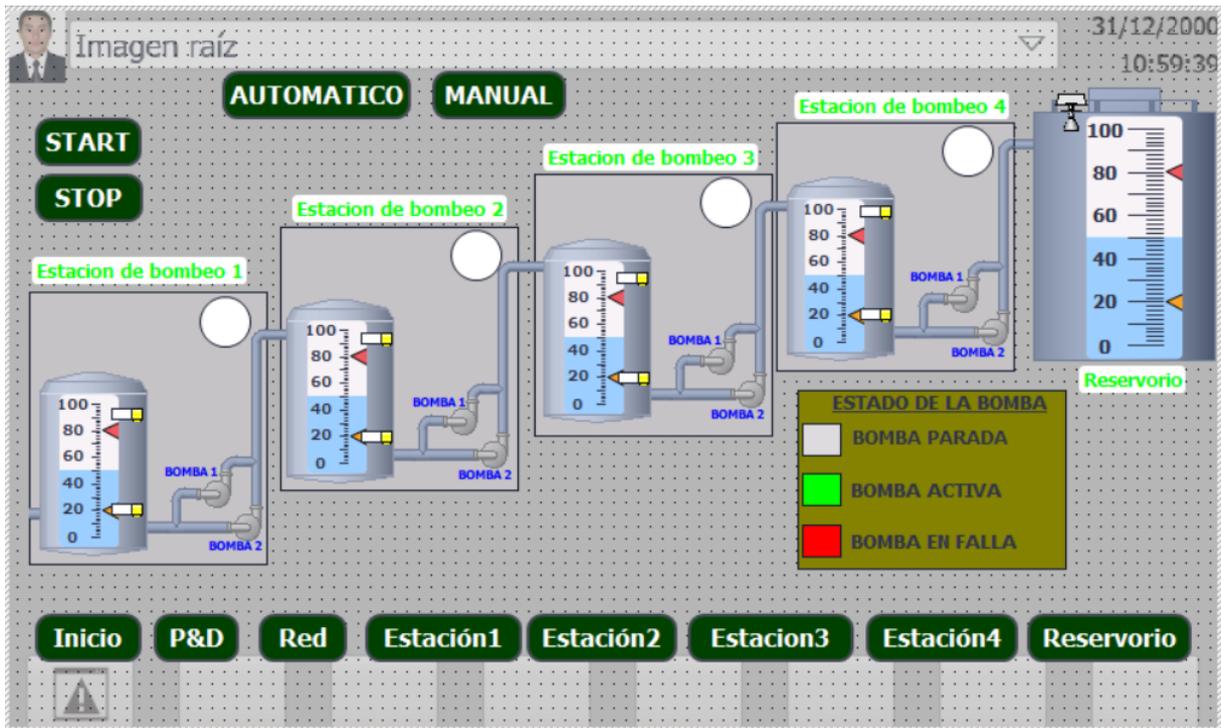


Fig. 32: Diseño de funcionamiento del proceso de abastecimiento de agua

Así mismo, la figura 33 representa el diseño de la estación 1, donde se observa el tanque de almacenamiento de agua y los dos sensores de nivel alto y bajo, también dos botones (activar bomba 1 y activar bomba 2) donde se puede seleccionar el funcionamiento alternado de cada bomba.

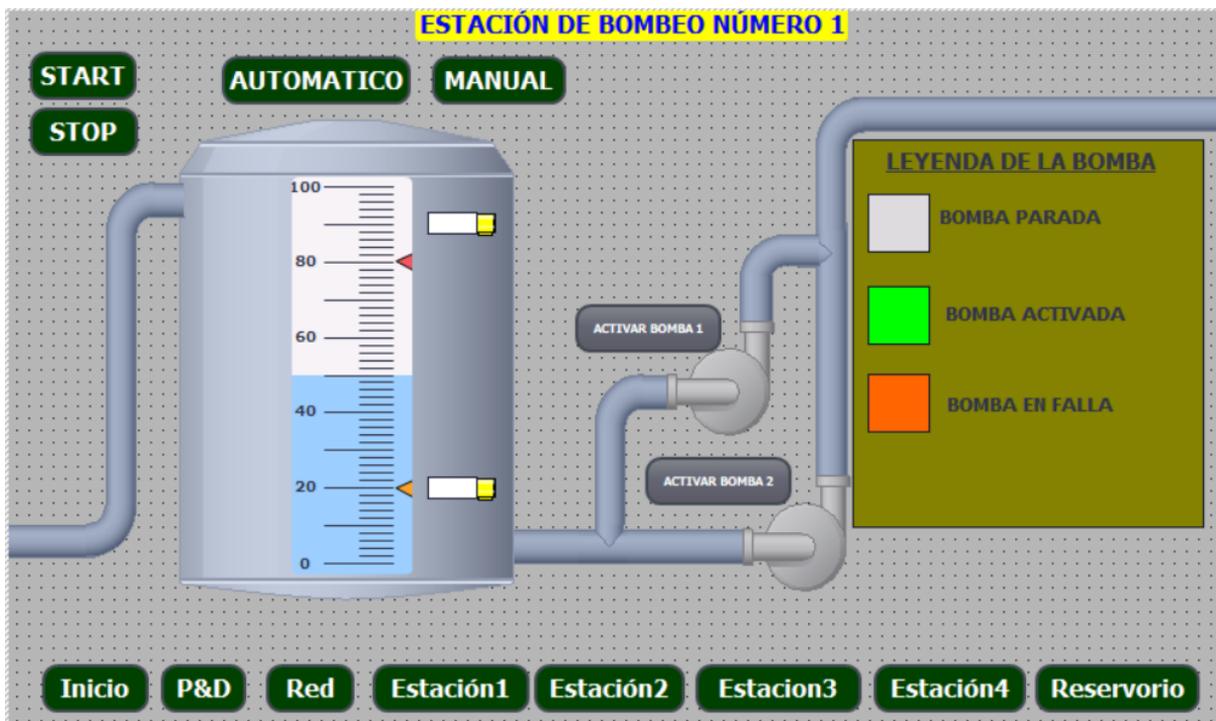


Fig. 33: Diseño de la estación N°1.

También, la figura 34 muestra el diseño de la estación 2, donde se puede apreciar el tanque de almacenamiento de agua y los dos sensores de nivel alto y bajo, además, dos botones (activar bomba 1 y activar bomba 2), donde el operador tiene la posibilidad de seleccionar el funcionamiento alternado de cada bomba.

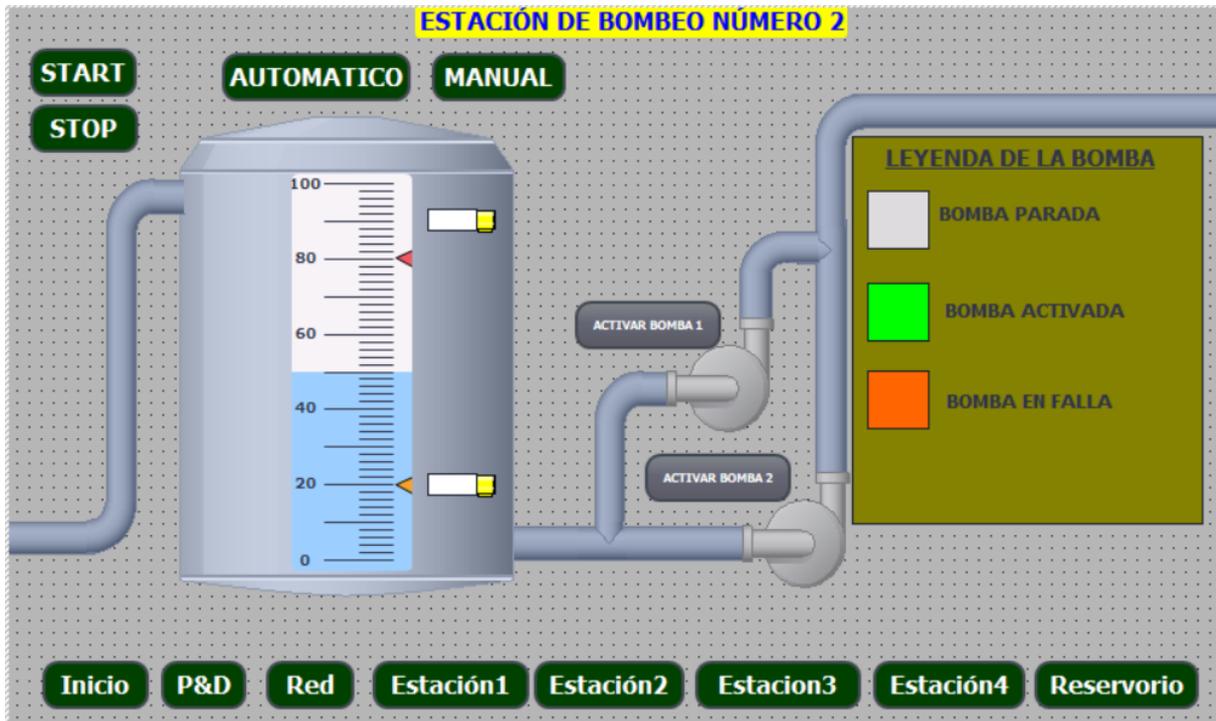


Fig. 34: Diseño de la estación N°2.

Así mismo, la figura 35 muestra el diseño de la estación 3, donde se simula el almacenamiento de agua en el tanque, el mismo que tiene sensores digitales de alto y bajo nivel, así mismo los botones (activar bomba 1 y activar bomba 2) donde se puede seleccionar el funcionamiento alternado de cada bomba.

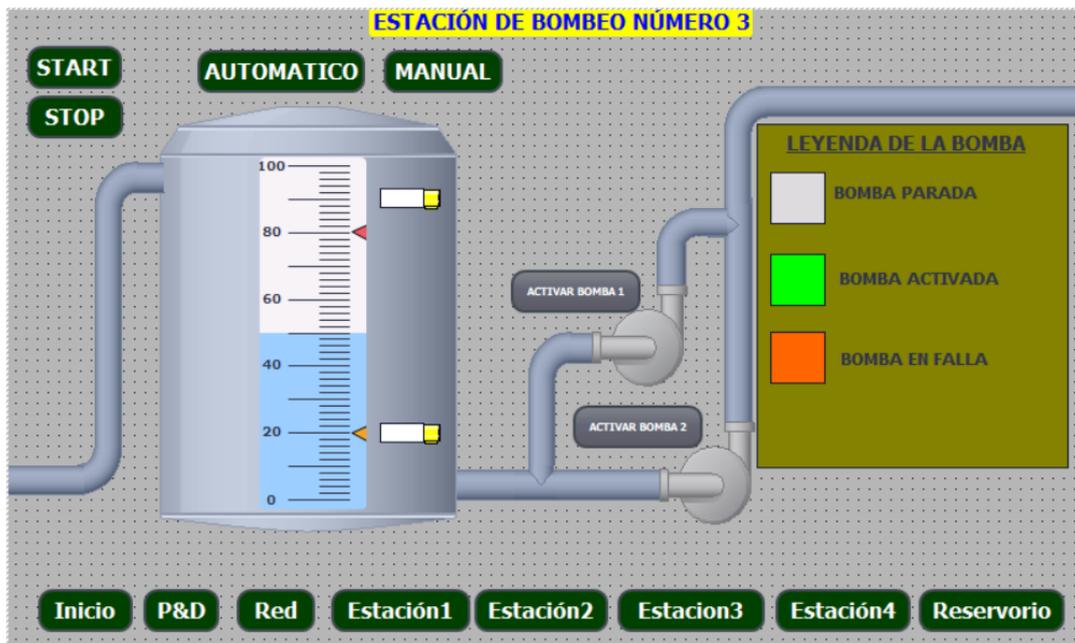


Fig. 35: Diseño de la estación N°3.

Por otra parte, la figura 36 muestra la simulación de la estación 4, donde se observa el tanque de almacenamiento de agua y los dos sensores de nivel alto y bajo, así mismo dos botones (activar bomba 1 y activar bomba 2), además el operador tiene la posibilidad de seleccionar el funcionamiento alternado de cada bomba.

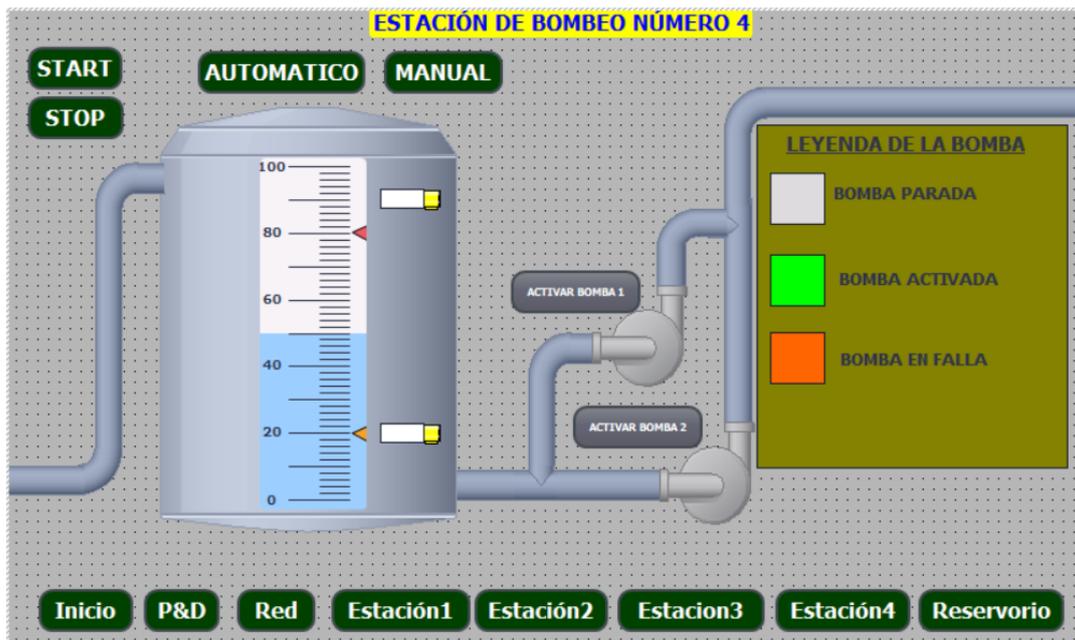


Fig. 36: Diseño de la estación N°4.

Del mismo modo, la figura 37 ilustra el diseño de la pantalla del reservorio principal, que simula la instalación de un sensor ultrasónico, el cual mide el nivel de llenado; adicionalmente, se agrega un SET Point que posibilita simular el porcentaje mínimo, máximo y actual de agua que contiene el reservorio.

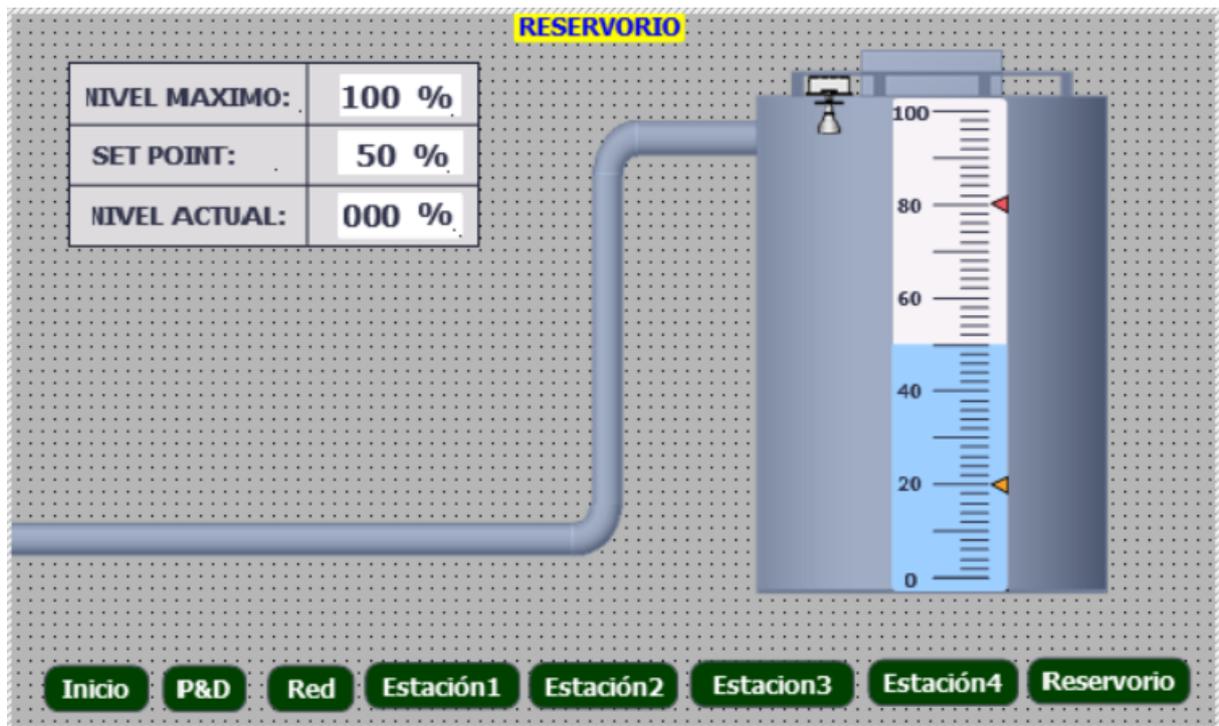


Fig. 37: Diseño del reservorio.

### 3.1.1.6 Programación del controlador lógico programable

A continuación, se presenta una serie de figuras donde se describe la lógica de programación de cada controlador lógico programable utilizado en el proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pílancones Hualgayoc. Se empleó el software TIA PORTAL y el lenguaje LADDER para la programación de cada controlador; este software facilita la programación de cualquier tipo de controlador e interfaces hombre-máquina (HMI), así mismo ofrece acceso a una gama de servicios de automatización digitalizada, como la planificación digital, la ingeniería integrada y la operación transparente. Sin embargo, para la solución se utilizó el controlador S7-1200 (figura 27).

La figura 38 muestra el entorno de la interfaz gráfica del software Totally Integrated Automation (TIA PORTAL), además se realizó la creación del árbol del proyecto para la programación de los controladores y HMI.

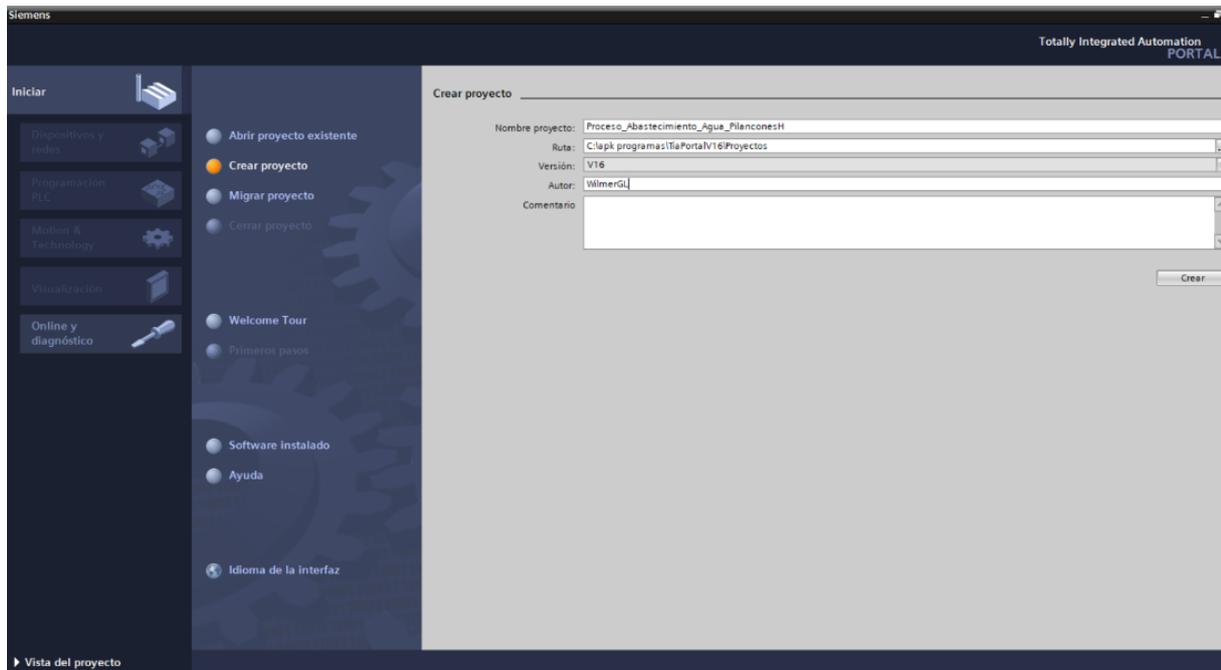


Fig. 38: Creación de proyecto en TIA PORTAL.

La figura 39 muestra el entorno de trabajo del software TIA PORTAL, esta vista ofrece herramientas orientadas a las tareas que desea realizar el programador; además, se pueden encontrar diferentes tipos de controladores, pantallas, así mismo, funciones como operadores, temporizadores, contadores, comparadores, conexiones, etc., en este caso se agregaron controladores S7-1200 y HMI, el cual nos permite programar y simular la solución propuesta en la tesis.

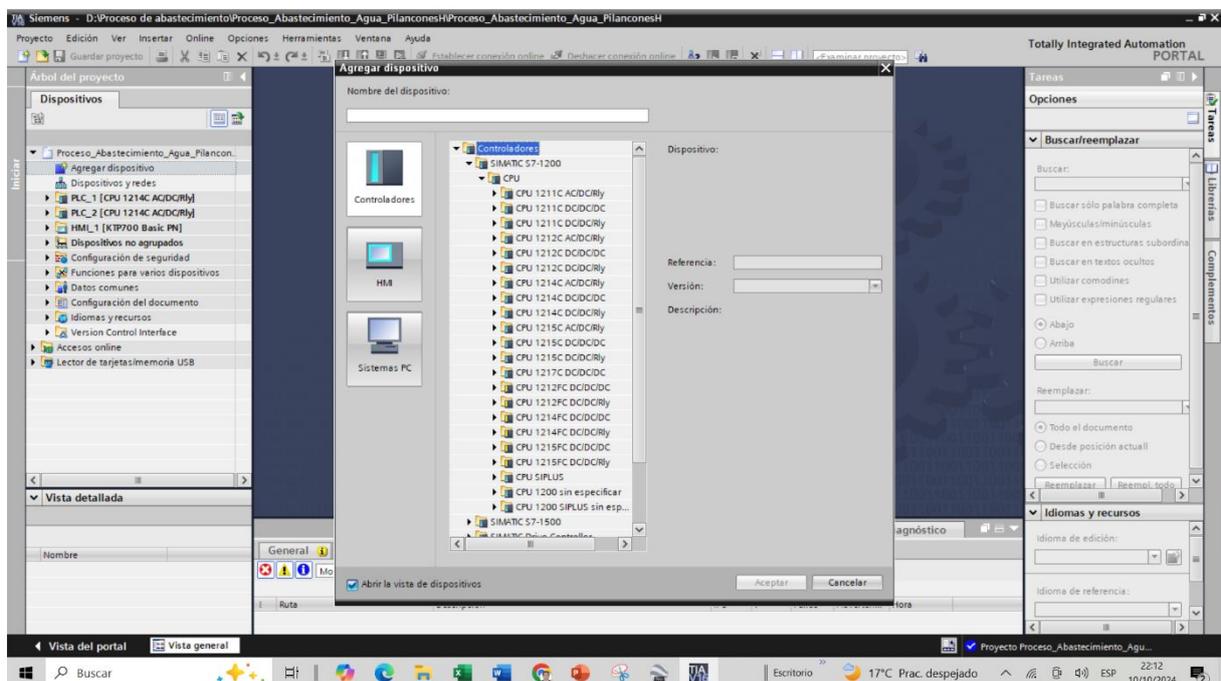


Fig. 39: Interfaz de TIA PORTAL.

Del mismo modo, la figura 40 muestra las variables declaradas para la programación de todo el proceso de abastecimiento de agua potable, es importante definir las en cada controlador para que solo se requiera su asignación en los pasos subsiguientes, para este escenario se consideran variables físicas de tipo Word, entero y tipo bool, sin embargo, es necesario utilizar marcas o memorias internas.

Variables PLC									
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	
1	Tag_1	Tabla de variabl...	Word	%IW0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Clock_Byte	Tabla de variables e..	Byte	%M80	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Clock_10Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Clock_5Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Clock_2.5Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Clock_2Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Clock_1.25Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Clock_1Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	Clock_0.625Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	Clock_0.5Hz	Tabla de variables e..	Bool	%M0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	Tag_2	Tabla de variables e..	Word	%MW2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	Sensor_Nivel_Bajo_E1	Tabla de variables e..	Bool	%IO.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	Sensor_Nivel_Bajo_E2	Tabla de variables e..	Bool	%IO.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Star	Tabla de variables e..	Bool	%IO.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	Stop	Tabla de variables e..	Bool	%IO.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	Automático	Tabla de variables e..	Bool	%IO.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	Manual	Tabla de variables e..	Bool	%IO.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	Sensor_Nivel_Alto_E2	Tabla de variables e..	Bool	%IO.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	Bomba1_E1	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	Bomba2_E1	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	Bomba1_E2	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	Bomba2_E2	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	Alarma	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	Sensor_Nivel_Bajo_E3	Tabla de variables e..	Bool	%M2.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25	Sensor_Nivel_Alto_E3	Tabla de variables e..	Bool	%M2.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26	Sensor_Nivel_Bajo_E4	Tabla de variables e..	Bool	%M2.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27	Sensor_Nivel_Alto_E4	Tabla de variables e..	Bool	%M2.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28	Sensor_Ultrasonico_R	Tabla de variables e..	Word	%MW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29	Modo_Activacion_MAnnual	Tabla de variables e..	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30	Modo_Activacion_automatiko	Tabla de variables e..	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31	Activar_sistema	Tabla de variables e..	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32	ActivarBomba_E1	Tabla de variables e..	Bool	%M1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33	Activar_Bomba_E2	Tabla de variables e..	Bool	%M1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
34	Activar_Bomba_E3	Tabla de variables e..	Bool	%M1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
35	Activar_Bomba_E4	Tabla de variables e..	Bool	%M1.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
36	Bomba1_E3	Tabla de variables e..	Bool	%M2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
37	Bomba2_E3	Tabla de variables e..	Bool	%M2.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
38	Bomba1_E4	Tabla de variables e..	Bool	%M3.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
39	Bomba2_E4	Tabla de variables e..	Bool	%M3.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Fig. 40: Declaración de Variables.

La figura 41 muestra la conexión lógica de los controladores, que se reconoce con una IP que se encuentre en el mismo rango, con el objetivo de facilitar el envío y recepción de datos.

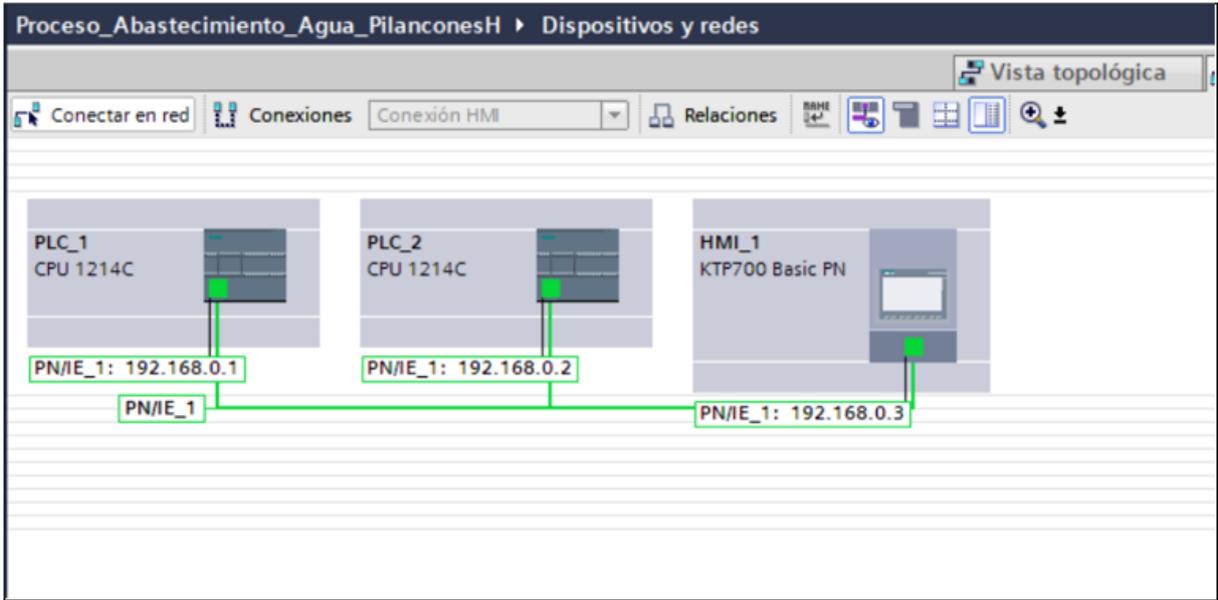


Fig. 41: Comunicación de PLC.

La figura 42 muestra una porción del código en el lenguaje LADDER, empleando funciones TSEND y TRCV para transmitir y recibir información a través de una conexión en SIMATIC S7 de los distintos controladores situados en cada estación, con este código se realiza una comunicación full dúplex entre los controladores, entonces de esta manera se logra el envío y recepción de datos a la pantalla HMI.



Fig. 42: Código para conexión de controladores.

Por otra parte, la figura 43 muestra el código que permite poner en modo automático o modo manual todo el proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pílancones.

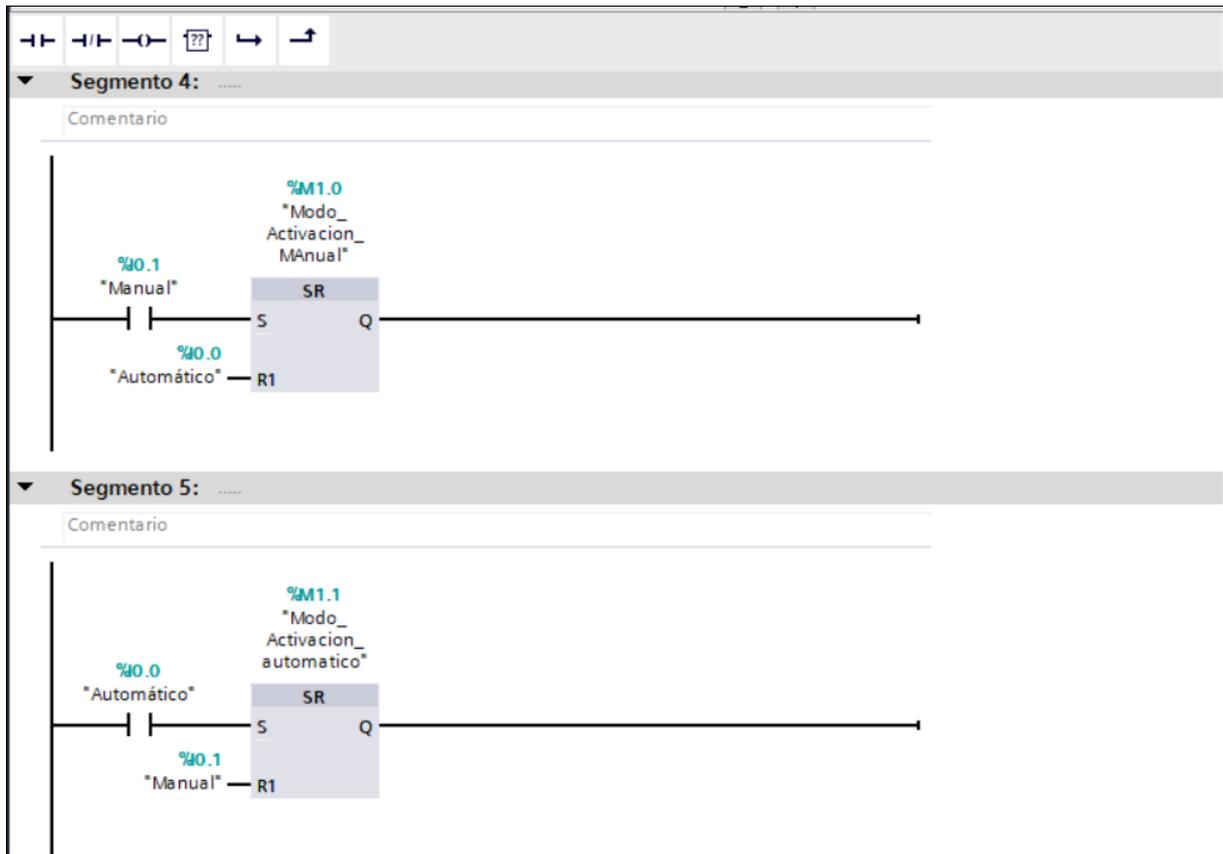


Fig. 43: Código para modo manual y automático.

La figura 44 muestra el código que permite activar o desactivar el sistema de automatización con el contacto abierto “Star” o “Stop”.

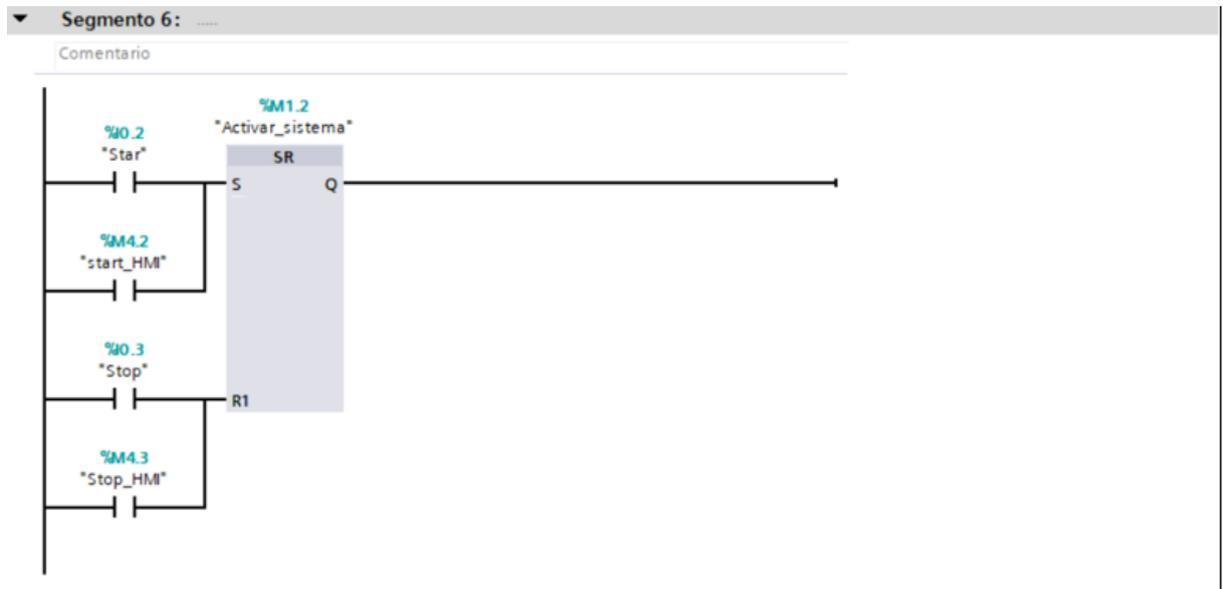


Fig. 44: Código para activar y desactivar el sistema.

La figura 45 muestra el código que permite activar o desactivar las bombas de cada estación, una bomba se activa una vez que se haya activado el sistema y el sensor de nivel bajo también y de lo contrario se desactiva cuando el sensor de nivel alto se haya activado o manual mente se presione el botón stop de la interfaz HMI.

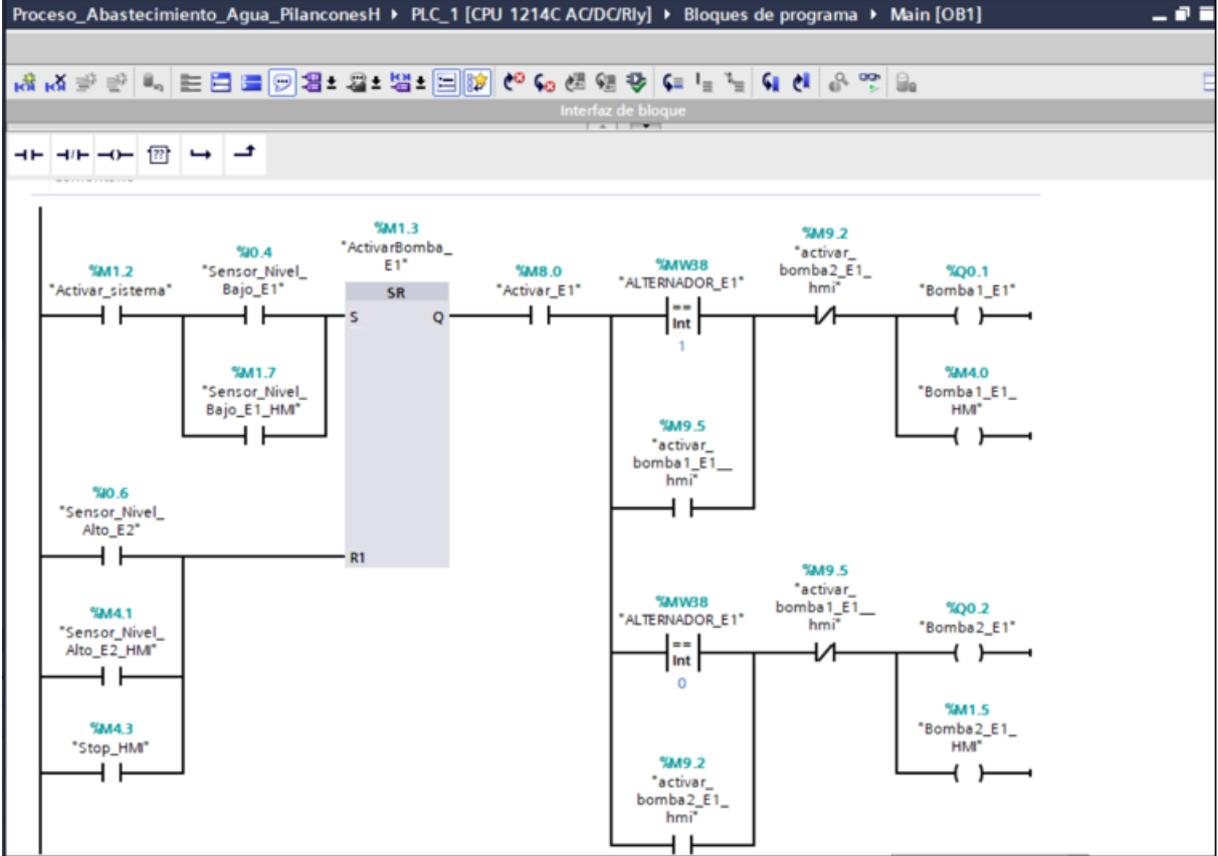


Fig. 45: Código para activar bombas.

Por otra parte, la figura 46 muestra el código que permitió simular el llenado de cada tanque de las estaciones, de esta forma el operador tenga una mejor visualización del proceso de abastecimiento de agua potable.



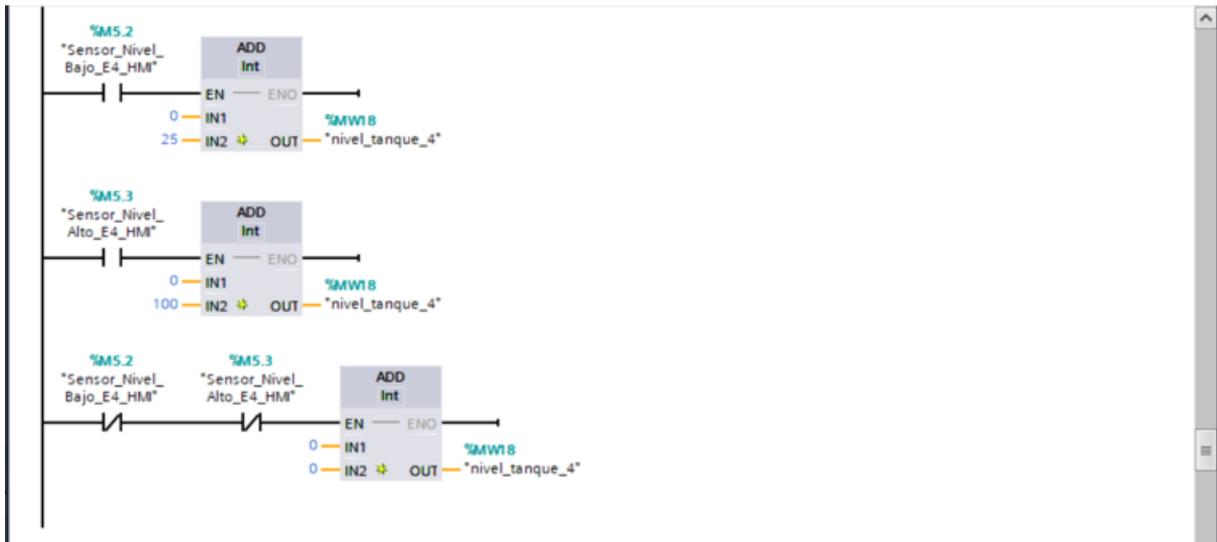


Fig. 46: Código para simular nivel de tanques.

La figura 47 muestra la programación de temporizadores con retardo a la activación (TON), esta función permite activar el actuador después que se haya cumplido el tiempo que se le dio a través del Set Point.

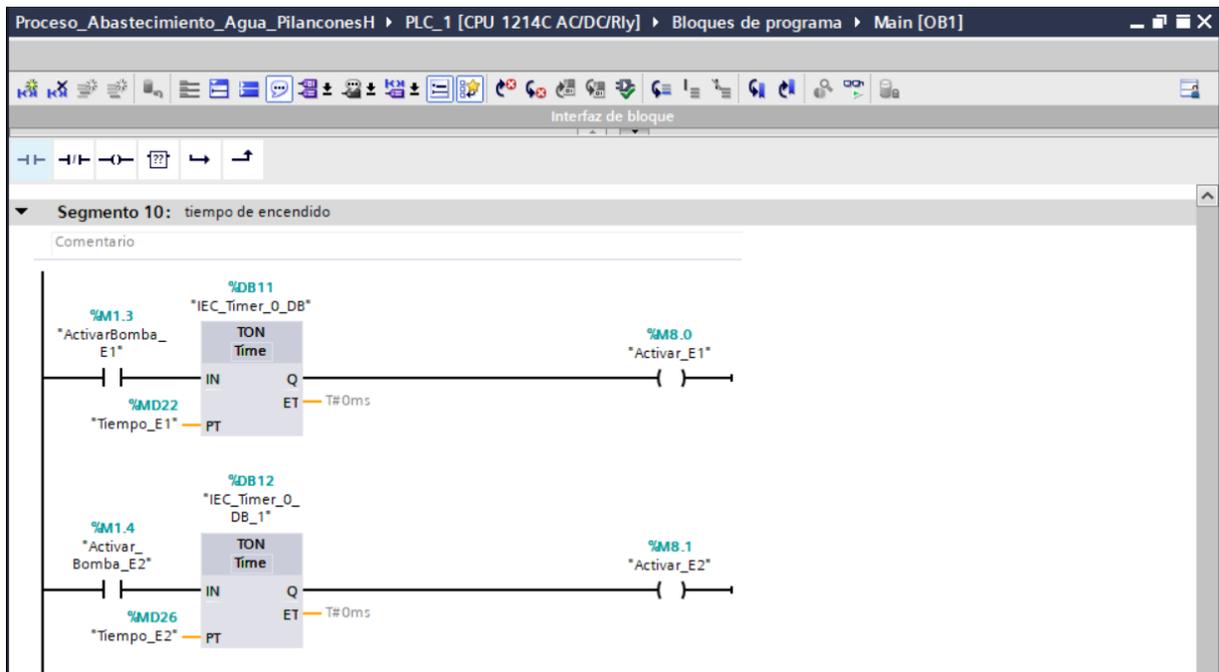
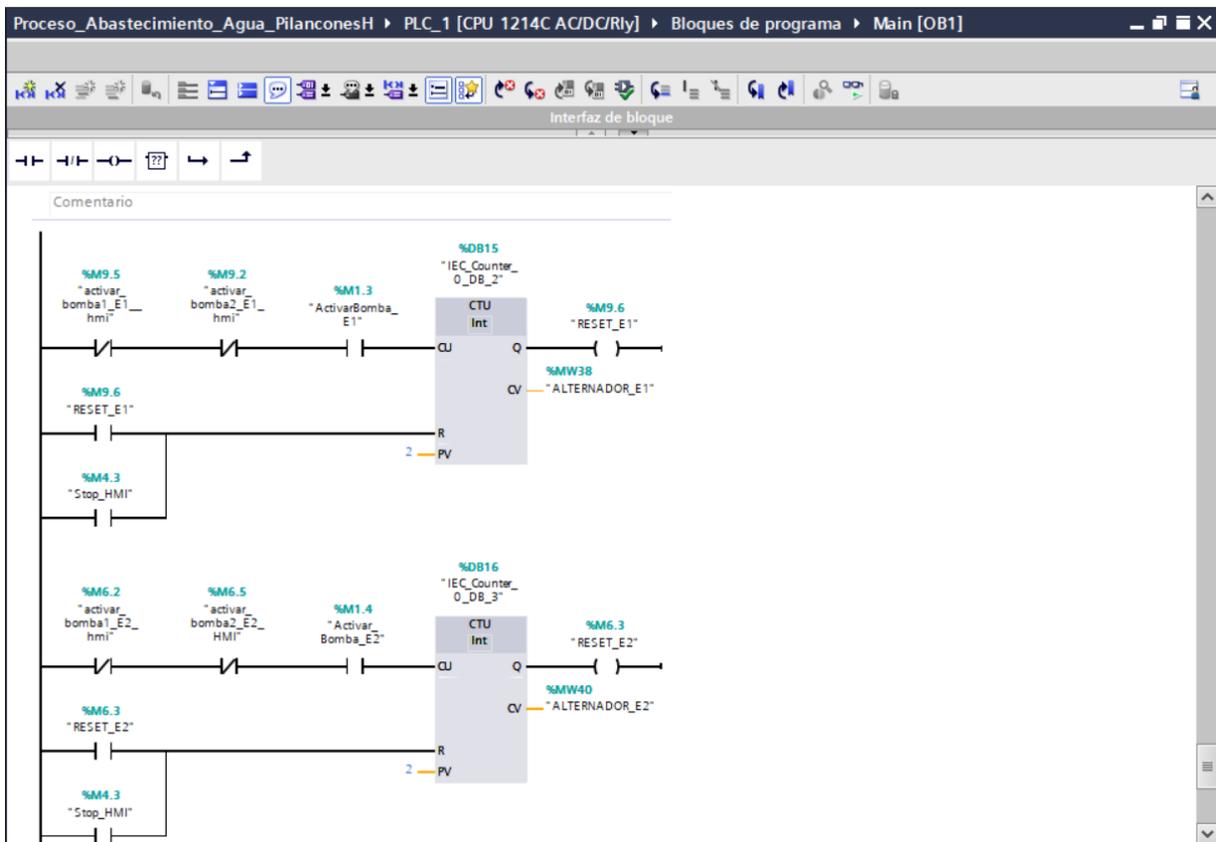




Fig. 47: Código para temporizadores.

Así mismo, la figura 48 muestra el código que permite alternar la activación de las bombas que están en cada estación, la función contador ascendente se resetea una vez que cambia de 0 a 1 o viceversa.



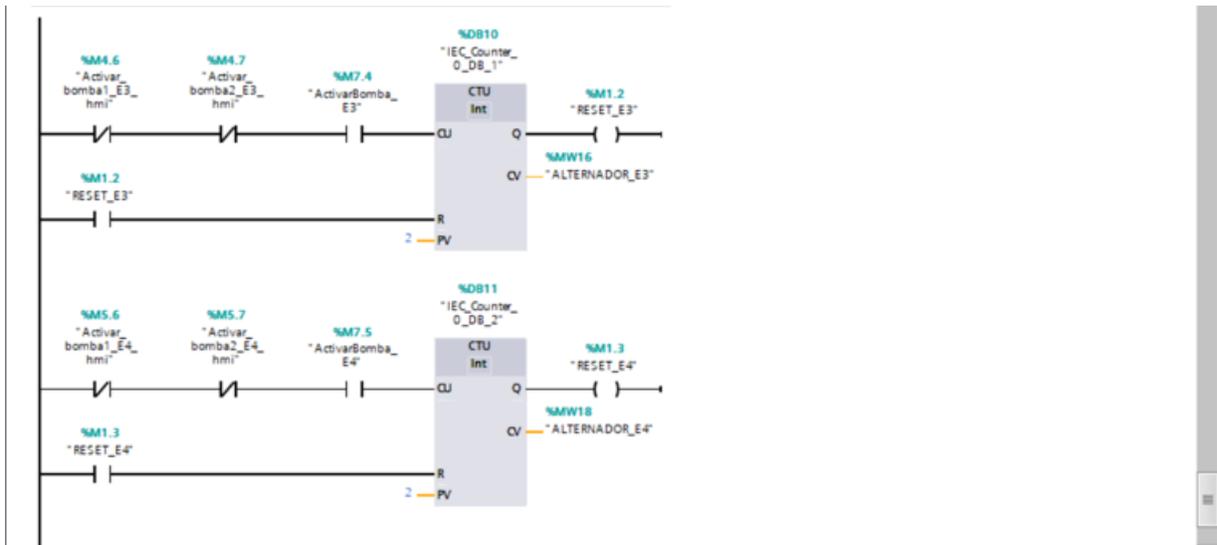


Fig. 48: Código para alternar prendido de bombas.

La figura 49 muestra el código que permitió normalizar y escalar los datos que lee el sensor ultrasónico, este tipo de sensor incorpora un transmisor de 4 a 20 mA, entonces se usa estas dos funciones del programa para pasar un valor que está en el rango de 5530 y 27648 a un valor en bits 0 o 1, así mismo se muestra el código para transformar esa información a un valor de porcentaje, de esta manera visualizar el nivel del llenado del reservorio en un porcentaje.

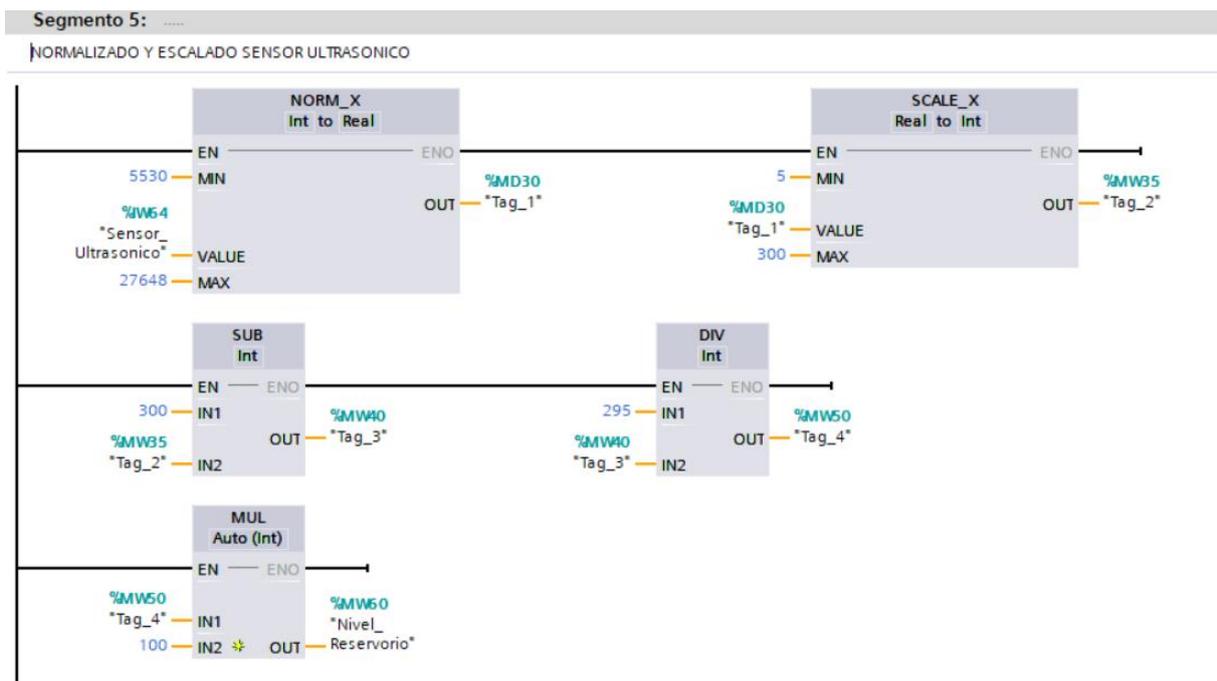


Fig. 49. Normalizado y escalado del sensor ultrasónico.

### 3.1.1.7 Implementación del sistema SCADA

En este apartado se describe el despliegue de cada actividad que se realizó para la implementación del sistema SCADA, instalando controladores lógicos programables, sensores, pulsadores, selectores en cada estación, adicionalmente en la estación 1 se instaló la pantalla HMI, finalmente se realizó todas las conexiones.

La figura 50 muestra el tanque de almacenamiento de agua y la instalación del sensor en el tanque de la estación 1, el mismo que desactiva el sistema de control cuando el reservorio principal está lleno.



*Fig. 50: Instalación de sensor en estación 1.*

De igual forma, la figura 51 muestra la instalación del sensor de nivel alto y nivel bajo en el tanque de la estación 2, este procedimiento se realizó en cada taque de las estaciones 3 y estación 4. El funcionamiento del sensor tipo flotador horizontal es como un switch se activa cuando el agua hace contacto con él.



*Fig. 51: Instalación de sensores digitales en estaciones*

Por otra parte, la figura 52 muestra la instalación del controlador lógico programable en el tablero de control que existe en cada estación, este procedimiento se llevó a cabo en cada estación y en el reservorio principal donde cada sensor de nivel bajo y alto se conecta a las entradas digitales físicas que posee el controlador y mediante su puerto de comunicación se conecta a la antena que la misma conecta a la red de radioenlaces.



*Fig. 52: Instalación de controlador lógico programable*

La figura 53 muestra la instalación y conexión de los dispositivos de campo en las entradas y salidas del controlador lógico programable instalado en la estación 1, así mismo se muestra la instalación de un switch que permite la comunicación entre antena receptora, controlador y pantalla HMI.



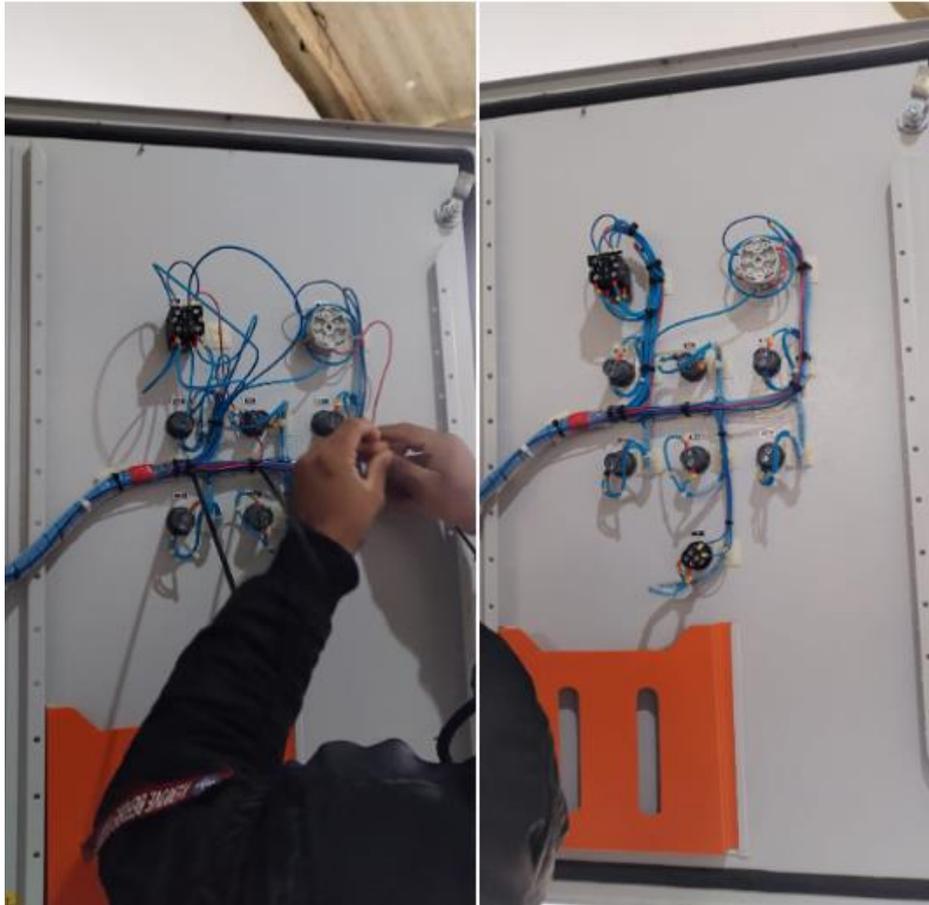
Fig. 53: Instalación de controlador y switch en estación 1.

Por otra parte, la figura 54 muestra la instalación y conexión del sensor ultrasónico en el reservorio principal, este dispositivo permite medir el nivel de agua emitiendo señales al controlador, el valor es transformado en porcentaje y el mismo es enviado al HMI, de manera que los operarios puedan visualizar en tiempo real el nivel del agua que alberga el reservorio.



Fig. 54: Instalación de sensor ultrasónico en reservorio principal.

También, la figura 55 muestra la conexión de los selectores y pilotos led efectuada en el tablero de control, estos dispositivos facilitan cambiar de automático a manual y verificar que bomba está funcionando respectivamente. Esta actividad se realiza en cada tablero de las estaciones.



*Fig. 55: Conexión de selectores y led.*

Entonces, la figura 56 muestra la instalación del selector y los leds pilotos en cada tablero de las estaciones, esto permite poner el sistema en modo automático y modo manual, además cuando el led prende de color verde, indica que la bomba está funcionando; de lo contrario, no lo está.



Fig. 56: Instalación de selector en tablero.

Además, la figura 57 muestra la instalación del PLC en el tablero del reservorio principal, al cual se le agregó un módulo de entradas y salidas analógicas para la conexión del sensor ultrasónico.

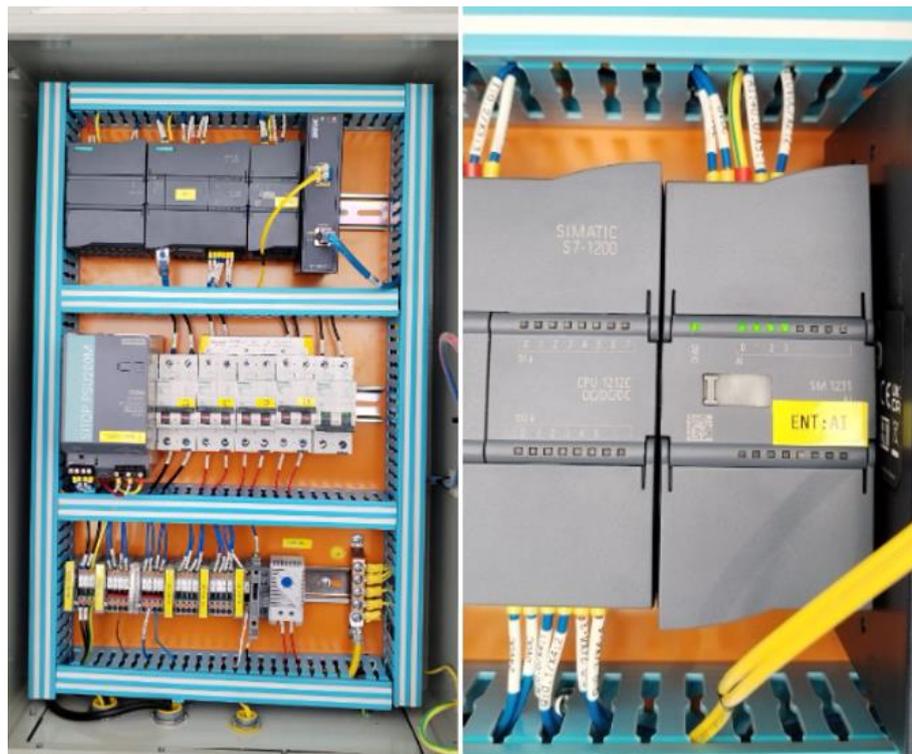


Fig. 57: Tablero de conexiones del reservorio.

Así mismo, la figura 58 muestra la instalación de la interfaz hombre máquina (HMI) en el tablero de la estación 1, este dispositivo permite la interacción del operador y el sistema, donde el operario puede visualizar y manipular el proceso de abastecimiento de agua potable de Pílancones en tiempo real.



*Fig. 58: Instalación de HMI.*

### **3.1.1.8 Pruebas del funcionamiento del sistema SCADA con radioenlaces.**

En este apartado se realizan las pruebas de funcionamiento del sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces en el proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pílancones, esto es una actividad metódica para garantizar que todos los componentes del sistema funcionen correctamente y de esta manera verificar si se cumple la solución de las dimensiones a controlar.

La figura 59 muestra la comunicación entre los distintos equipos de la red inalámbrica, el color blanco del círculo indica que no existe comunicación entre los controladores de cada estación, sin embargo, el color verde del círculo indica que existe comunicación entre los controladores de las estaciones y por lo tanto se puede enviar y recibir datos.

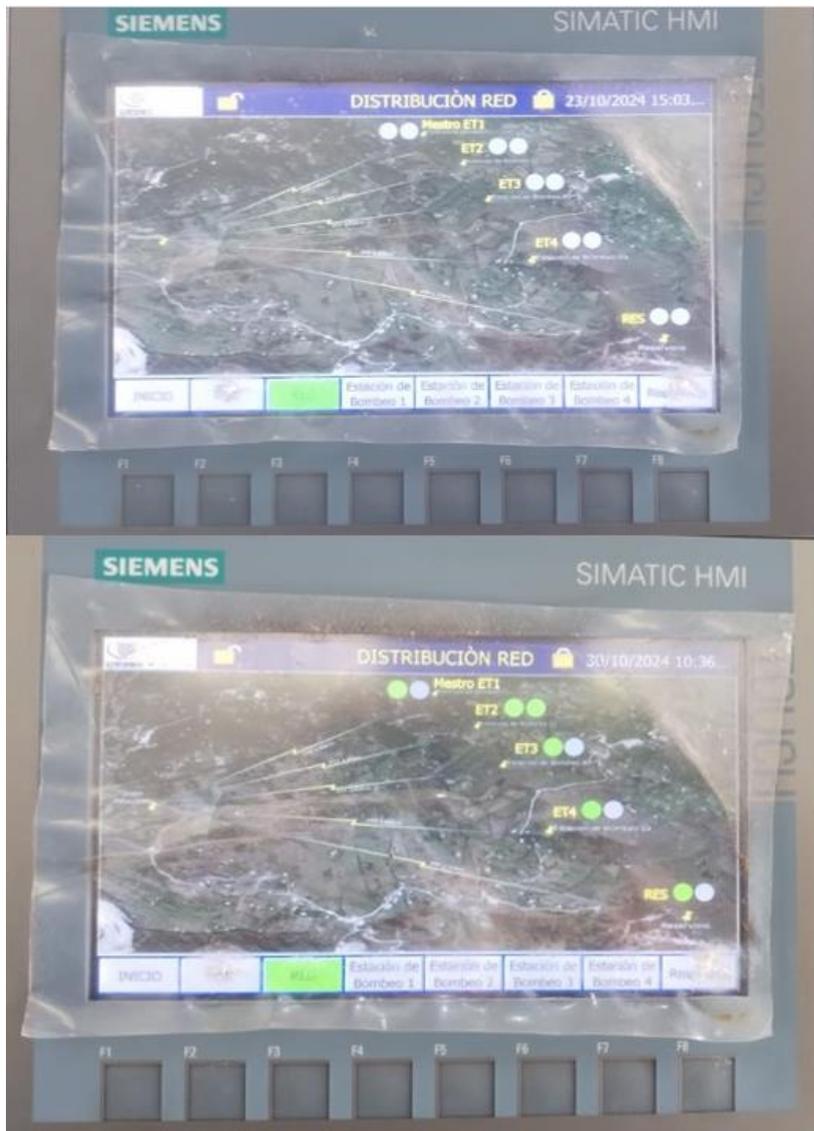


Fig. 59: Pantalla de comunicación.

La figura 60 muestra el Set Poit, el mismo que permite al operador insertar un tiempo al temporizador para que después que el agua activa el sensor de nivel bajo se pueda activar cualquiera de las bombas.

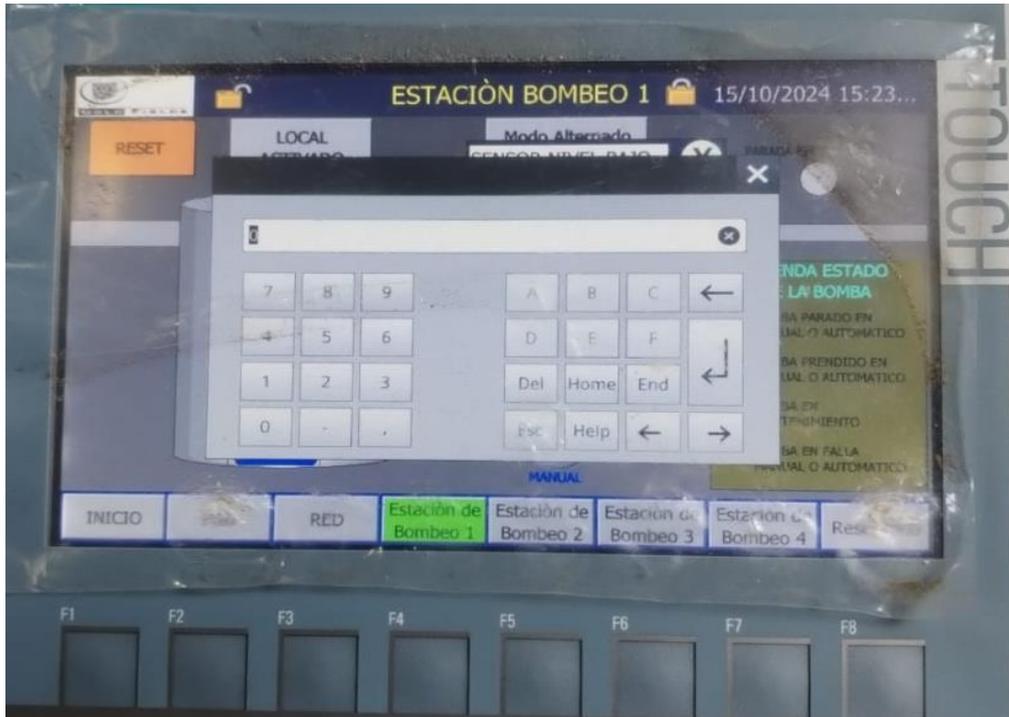


Fig. 60: Set Point para ingresar tiempo de activación de bombas.

Además, la figura 61 muestra el tiempo del temporizador con un tiempo de retardo a la conexión que posibilita la activación de la bomba 1 o la bomba 2 y así bombear el agua a la siguiente estación, este procedimiento se realiza en cada sensor de nivel de cada estación.



Fig. 61: Configuración de temporizador.

Por otro lado, la figura 62 muestra la pantalla principal (P&D) del HMI donde se observa el funcionamiento de las 4 estaciones y el reservorio principal, esta pantalla incluye los botones de automático, manual, start y stop de la misma forma como se había simulado.

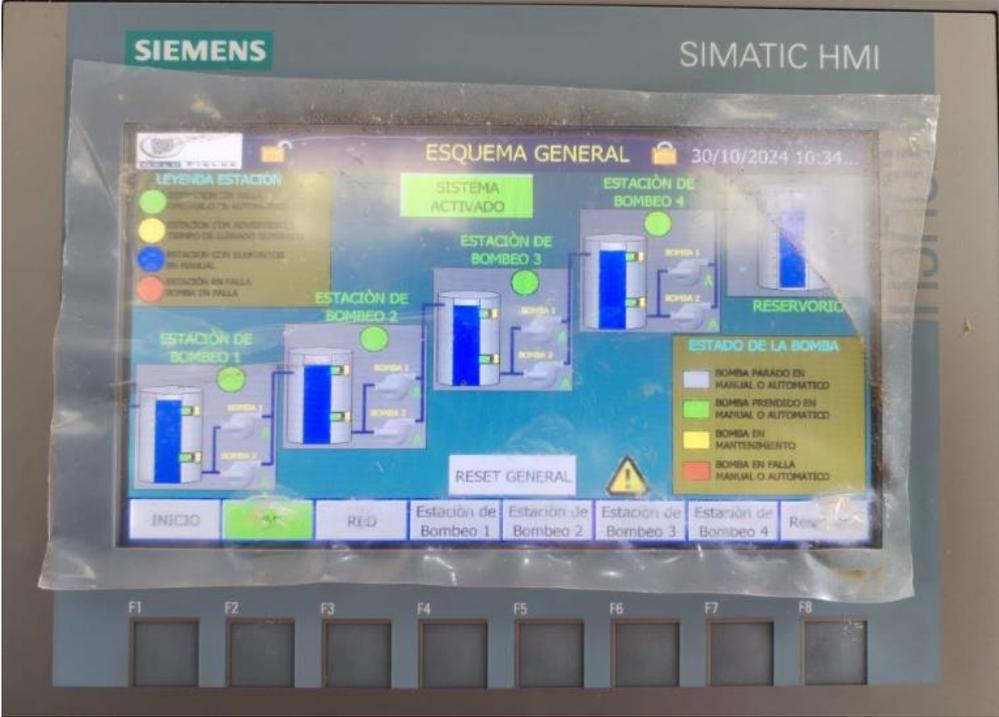


Fig. 62: Esquema general P&D.

Por otra parte, la figura 63, 64, 65 y 66 muestra la pantalla con el funcionamiento de la estación 1, estación 2, estación 3 y estación 4 respectivamente, además muestra la activación de los sensores de nivel bajo y el nivel alto y también el botón para seleccionar el funcionamiento alternado de las bombas.

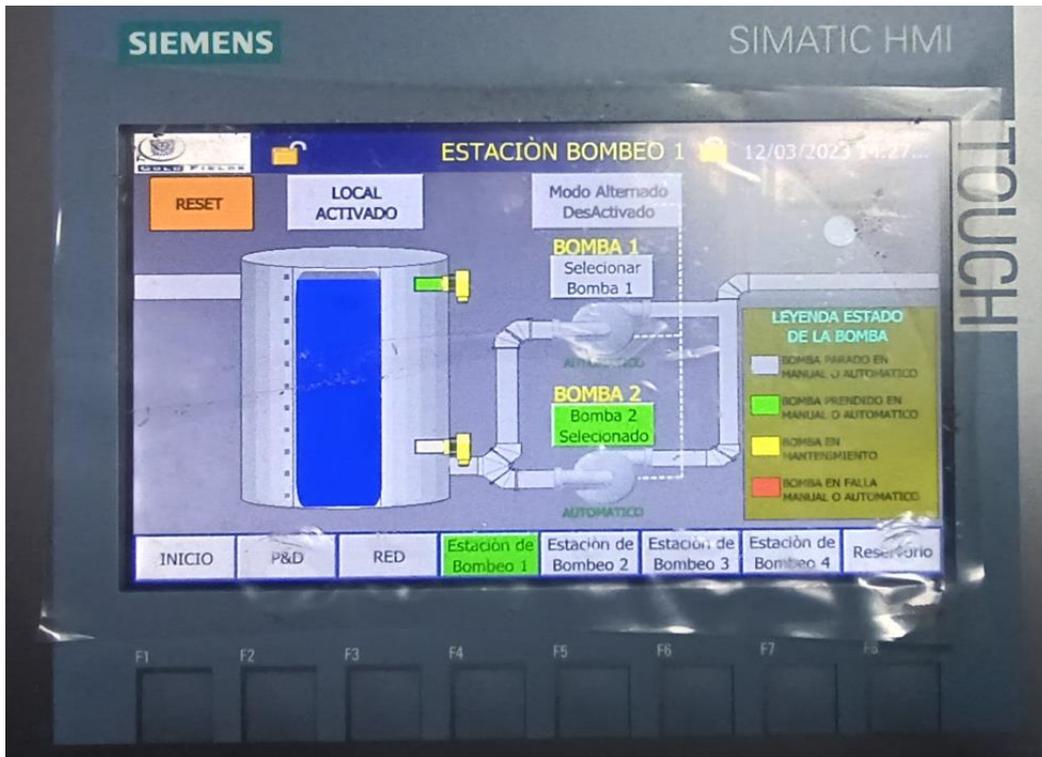


Fig. 63: Pantalla estación N°1.

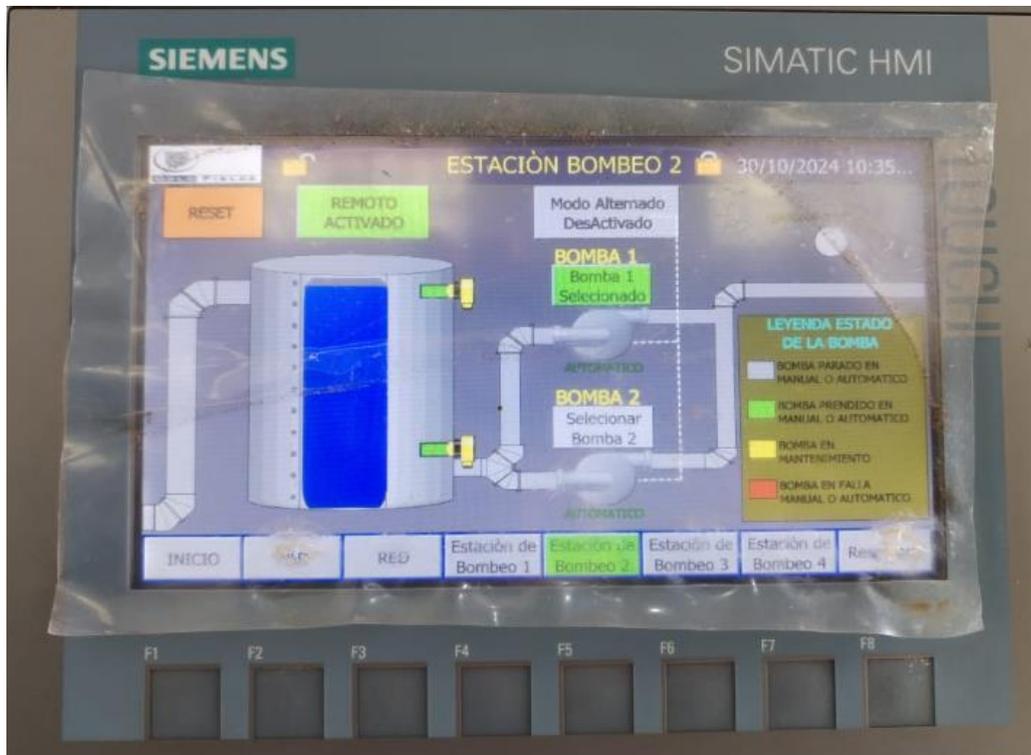


Fig. 64: Pantalla estación N°2.

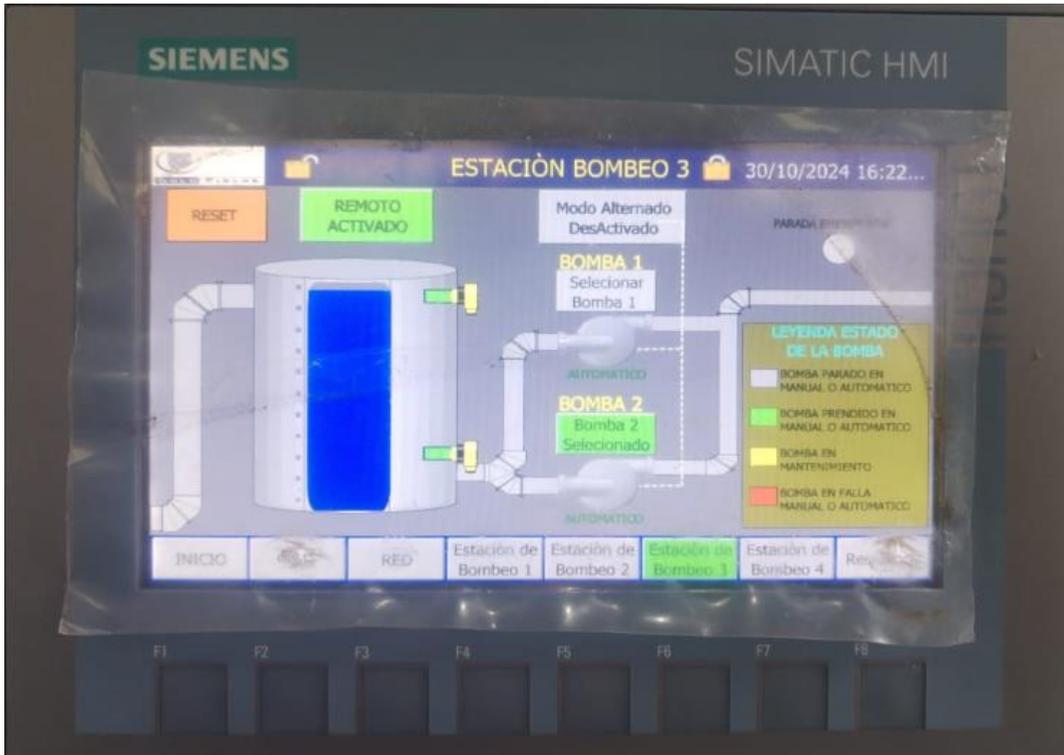


Fig. 65: Pantalla estación N°3.

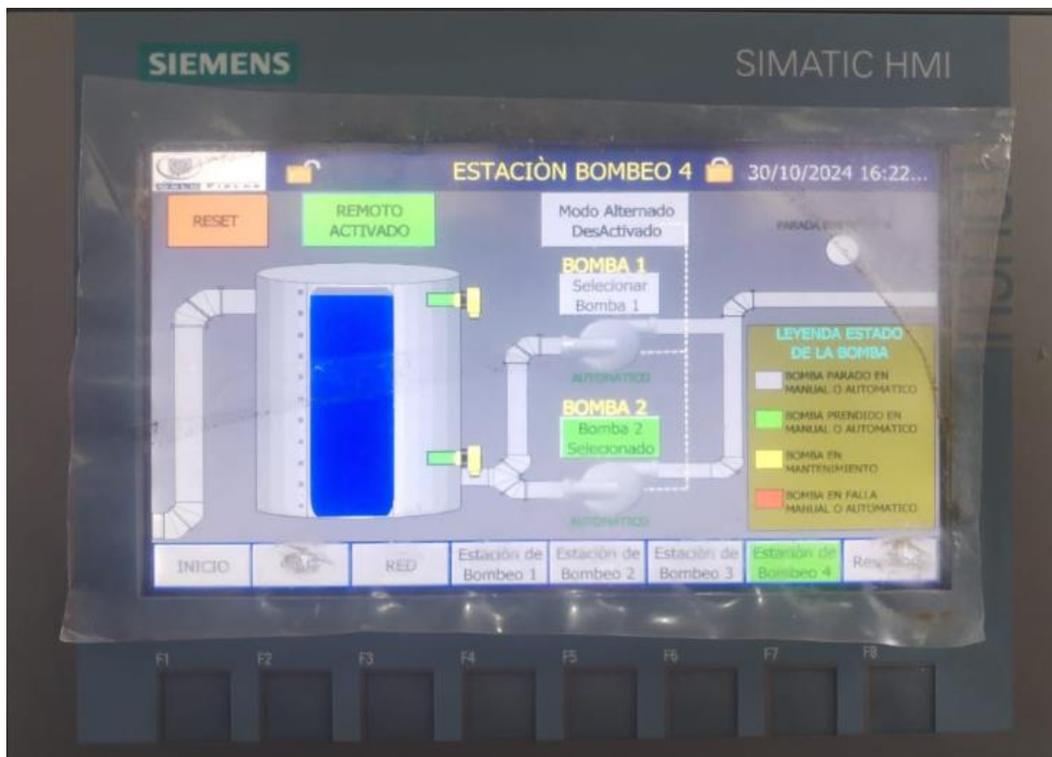


Fig. 66: Pantalla estación N°4.

La figura 67 muestra la información con los datos en tiempo real del nivel de agua del reservorio principal, se programó que el sistema se desactive cuando el nivel máximo llegue al 100% y se active cuando el nivel mínimo sea menor a 85%, entonces se observa que el nivel actual del reservorio es de 91%.



Fig. 67: Pantalla reservorio principal.

### 3.1.2 Presupuesto

La tabla XI, XII y XIII detallan el presupuesto para implementar el sistema SCADA con radioenlaces en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones Hualgayoc, incluye la compra de equipos, mano de obra para la instalación y configuración de los mismos y otros gastos que se puede dar durante el proceso de ejecución del proyecto.

Tabla XI: Costos de hardware

Hardware	MARCA	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
Controlador lógico programable (PLC)	Siemens	5	S/ 1,694.00	S/ 8,470.00
Interfaz Hombre-Maquina (HMI)	Siemens	1	S/ 2,482.00	S/ 2,482.00
Equipos de comunicación	Cambium	12	S/ 935.00	S/ 11,220.00
Switch	Siemens	1	S/ 1,236.00	S/ 1,236.00
Cable UTP	Cat6	2	S/ 330.00	S/ 660.00
Sensor Ultrasónico	VegaPuls	1	S/ 3,979.50	S/ 3,979.50
Sensor de nivel	MR	8	S/ 97.00	S/ 776.00
Conectores RJ45	Cat6	100	S/ 1.40	S/ 140.00
Selectores	EP-16A	5	S/ 37.00	S/ 185.00
<b>TOTAL</b>				<b>S/ 29,148.50</b>

Tabla XII: Costo de implementación y programación de sistema SCADA con radioenlaces

Clasificación	Descripción	Costo
Servicio	Mano de obra para la instalación de equipos y cableado de los PLC	S/8,000.00
Servicio	Programación de PLC	S/12,500.00
Servicio	Instalación y configuración de equipos de radioenlaces	S/5,000.00
Alimentación		S/2,700.00
otros	Gastos adicionales	S/1,500.00
<b>Total</b>		<b>S/29,700.00</b>

Tabla XIII: Costo Total de implementación de sistema SCADA con radioenlaces

Costo de proyecto sistema SCADA con radioenlaces	
Costo en hardware	S/ 29,148.50
Costos en implementación y programación de equipos	S/ 29,700.00
<b>Total</b>	<b>S/ 58,848.50</b>

## **3.2 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.**

### **3.2.1 Tratamiento y análisis de datos**

#### **3.2.1.1 Dimensión tiempo**

A través del instrumento ficha de observación se pudo recolectar información de los indicadores: tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal, tiempo de traslado de operarios de una estación a otra y tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal; para ello se realizó 6 medidas de tiempo por cada indicador, teniendo en cuenta los ciclos de observación que indica el método de la tabla General Electronic (ver Anexo 8), de antes y después de la implementación del sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces, este método consiste en medir la cantidad de ciclos para diferentes tiempos de ciclo, donde se pueden medir más ciclos para tiempos menores y menos ciclos para tiempos mayores.

La tabla XIV y XV resumen el número de observaciones y el tiempo promedio para los indicadores de la dimensión tiempo, en un pre test y post test respectivamente.

Tabla XIV: Indicador de tiempo promedio y cantidad de observaciones en la fase de pre test

<b>Indicador</b>	<b>Tiempo promedio(min)</b>	<b>Nro. Observaciones</b>
Tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal.	33.12	6
Tiempo de traslado de operarios de una estación a otra.	25.58	6
Tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal.	6.26	6

Tabla XV: Indicador de tiempo promedio y cantidad de observaciones en la fase de post test

<b>Indicador</b>	<b>Tiempo promedio(min)</b>	<b>Nro. Observaciones</b>
Tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal.	6.27	6
Tiempo de traslado de operarios de una estación a otra.	0.0	6
Tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal.	2.15	6

Teniendo en consideración el número de observaciones que se realizó, se procedió con el análisis de datos, para demostrar el tipo de distribución, para cada indicador se aplicó pruebas de normalidad (Ver Anexo 9) y para contrastar la hipótesis se emplea T-Student.

La tabla XVI muestra el detalle de los tiempos en minutos por cada ciclo de observación, antes y después del uso del sistema SCADA con radioenlaces, para el indicador, tiempo que tarda en llegar el agua desde la estación 1 hasta el reservorio principal en el proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pilancones-Hualgayoc.

Tabla XVI: Detalle para el tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta el reservorio principal, con y sin uso del sistema SCADA con radioenlaces.

Tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal		
Observaciones (O)	Tiempo (minutos)	
	Pre test	Post test
O1	33.14	6.27
O2	33.10	6.28
O3	33.14	6.28
O4	33.11	6.27
O5	33.13	6.26
O6	33.11	6.27
Promedio	33.12	6.27

La tabla XVII muestra el detalle del tiempo en minutos por cada ciclo de observación, antes y después del uso del sistema SCADA con radioenlaces para el indicador tiempo de traslado de operarios de una estación a otra. Se considera el tiempo de traslado 0 minutos en el post test, porque con el uso del sistema, no hay necesidad de trasladarse, ya que la visualización y monitoreo se hace desde la pantalla HMI de la estación 1.

Tabla XVII: Detalle de tiempo de traslado de operarios de una estación a otra, antes y después del uso del sistema SCADA con radioenlaces.

Tiempo de traslado de operarios de una estación a otra.		
Observaciones (O)	Tiempo (minutos)	
	Pre test	Post test
O1	24.5	0
O2	27	0
O3	22.3	0
O4	26.5	0
O5	25	0
O6	28.6	0
Promedio	25.58	0

La tabla XVIII detalla el tiempo en minutos por cada ciclo de observación, antes y después del uso del sistema SCADA con radioenlaces, para el indicador tiempo para generar un reporte del llenado del reservorio principal.

*Tabla XVIII: Detalle del indicador tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal antes y después del uso del sistema SCADA con radioenlaces.*

Tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal.		
Observaciones (O)	Tiempo (minutos)	
	Pre test	Post test
O1	5.3	2.1
O2	5.2	2.25
O3	6.05	2.12
O4	7.5	2.24
O5	6.3	2.1
O6	7.2	2.08
Promedio	6.26	2.15

Prueba de hipótesis:

Como se realizaron registros de datos antes y después de la implementación del sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces se aplica la prueba T-Student para datos emparejados, esta permite aceptar o rechazar la hipótesis alternativa, así mismo, teniendo en cuenta el nivel de confianza y significancia.

Hipótesis nula:

El tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal, el tiempo de traslado de los operarios de una estación a otra y el tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal antes de implementar el sistema SCADA con radioenlaces es menor o igual al tiempo después de ser implementado el sistema SCADA con radioenlaces.

$$H_0: A1 \leq D1$$

Hipótesis alternativa:

El tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal, el tiempo de traslado de los operarios de una estación a otra y el tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal antes de implementar el sistema SCADA con radioenlaces es mayor al tiempo después de ser implementado el sistema SCADA con radioenlaces.

$$H_a: AI > DI$$

Nota:

Ho —————> Hipótesis Nula

Ha —————> Hipótesis alternativa

AI —————> Antes de la Implementación

DI —————> Después de la implementación

Nivel de significancia.

El nivel de significancia fue del 5% ( $\alpha = 0.05$ ), del cual se infiere que el nivel de confianza es del 95%.

Valor estadístico.

Como se puede observar en las tablas XIX, XX y XXI, al utilizar T-Student para muestras emparejadas o relacionadas, se pudo analizar el nivel de significancia para validar la hipótesis.

*Tabla XIX: Estadísticas de muestras emparejadas o relacionadas de la dimensión tiempo.*

Estadística de muestras emparejadas o relacionadas					
		Media	N	Desv. est	Media de error estándar
Par 1	Tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal. Pre	33.1217	6	.01722	.00703

	Tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal. Post	6.2717	6	.00753	.00307
Par 2	Tiempo de traslado de operarios de una estación a otra. Pre	25.6500	6	2.20068	.89842
	Tiempo de traslado de operarios de una estación a otra. Post	0.000	6	.0000	.0000
Par 3	Tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal. Pre	6.2583	6	.94996	.3878
	Tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal. Post	2.1483	6	.07600	.0310

Tabla XX: Correlación de muestras emparejadas para indicadores de la dimensión tiempo.

Correlación de muestras emparejadas					
		N	Correlación	Estadístico t	P(T<=t)
Par 1	Tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal (Pre) & Tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal (Post)	6	-0.1800	3288.4400	0.00000
Par 2	Tiempo de traslado de operarios de una estación a otra (Pre) & Tiempo de traslado de operarios de una estación a otra (Post)	6	0	28.5499683	0.0000494
Par 3	Tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal (Pre) & Tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal (Post).	6	-0.0219	10.5456844	0.000066

Tabla XXI: Prueba de muestras emparejadas de la dimensión tiempo.

Prueba de medias emparejadas								
		Diferencias emparejadas				t	gl	P de un factor
		Media	Desv. est	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inf.	Sup.			
Par 1	Tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal (Pre) & Tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal (Post)	26.850	.0200	26.8290	26.8709	3288.44	5	0.000
Par 2	Tiempo de traslado de operarios de una estación a otra (Pre) & Tiempo de traslado de operarios de una estación a otra (Post)	25.650	2.2006	23.3405	27.9594	28.55	5	0.000
Par 3	Tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal (Pre) & Tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal (Post).	4.1100	.95465	3.10815	5.11185	10.546	5	0.001

Los resultados de la prueba T-Student para muestras emparejadas, donde se utilizó un intervalo de confianza de 95% y por ende un nivel de significancia de 5%, indicaron que hubo una diferencia significativa entre tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal pre y post implementación del sistema SCADA

con radioenlaces, con una diferencia en la media de 26.8500, un estadístico t de 3288.4399 y un valor de p de 0.000. De igual forma, se analizó una diferencia significativa entre el tiempo de traslado de operarios de una estación a otra pre y post implementación, con una diferencia en la media de 25.6500, un estadístico t de 28.549 y un valor de p de 0.00000. Por último, se observó una diferencia significativa en los datos obtenidos entre el tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal pre y post implementación del sistema, con una diferencia en la media de 4.1100, un estadístico t de 10.54563 y un valor de p de 0.0001.

Por lo tanto, con los resultados obtenidos se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, donde determina que los tres indicadores de tiempo, antes de la implementación de sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces son mayores.

### 3.2.1.2 Dimensión almacenamiento

Para recopilar los datos de los indicadores de esta dimensión (cantidad de reboses por día, cantidad de agua potable perdida por reboses al día), se utilizó la técnica análisis documental con su instrumento ficha de resumen (Ver Anexo 5).

La tabla XXII muestra el promedio de los datos recogidos de los indicadores de la dimensión almacenamiento.

*Tabla XXII: Promedio de número de reboses y cantidad de agua perdida por día.*

Indicador	Pre test	Post test
Cantidad de reboses por día.	5	0
Cantidad de agua potable perdida por reboses al día.	152.6 (Litros)	0 (Litros)

La tabla XXIII muestra el detalle de los datos recogidos de la cantidad de reboses por día, antes y después de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces. Se determinó 0 en la recolección de datos en el post test, ya que con la implementación de sensores en cada tanque no se produce ningún evento de rebose y por ende no existe desperdicio de agua.

Tabla XXIII: Detalle del indicador cantidad de reboses por día, antes y después del sistema SCADA con radioenlaces.

Cantidad de reboses por día		
Días (D)	Pre Test	Post Test
D1	5	0
D2	6	0
D3	5	0
D4	4	0
D5	5	0
Promedio	5	0

La tabla XXIV muestra el detalle de los datos recogidos en diferentes fechas de la cantidad de agua potable perdida por reboses día, antes y después de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces.

Tabla XXIV: Detalle del indicador cantidad de agua perdida por reboses al día, antes y después del sistema SCADA con radioenlaces.

Cantidad de agua potable perdida por reboses al día		
	Cantidad (Litros)	
Días (D)	Pre Test	Post Test
D1	155	0
D2	178	0
D3	156	0
D4	120	0
D5	154	0
Promedio	152.6	0

Prueba de hipótesis:

Como se emplearon datos registrados tanto antes como después a la implementación se aplica la prueba de T- Student para determinar la viabilidad de la hipótesis nula o hipótesis alternativa, el nivel de significancia y el nivel de confianza.

Hipótesis nula:

La cantidad de reboses por día y la cantidad de agua potable perdida por reboses al día antes de implementar el sistema SCADA con radioenlaces es menor o igual a la cantidad después de la implementación del sistema.

$$H_0: AI \leq DI$$

Hipótesis alternativa:

La cantidad de reboses por día y la cantidad de agua potable perdida por reboses al día antes de implementar el sistema SCADA con radioenlaces es mayor a la cantidad después de la implementación.

$$H_a: AI > DI$$

Nota:

$H_0$  —————> Hipótesis Nula

$H_a$  —————> Hipótesis alternativa

AI —————> Antes de la Implementación

DI —————> Después de la implementación

Nivel de significancia

El nivel de significancia fue del 5% ( $\alpha = 0.05$ ), del cual se infiere que el nivel de confianza es del 95%.

Valor estadístico:

Como se puede observar en las tablas XXV, XXVI y XXVII, al utilizar la prueba T-Student, para muestras emparejadas, se logró evaluar el grado de significancia para validar la hipótesis.

Tabla XXV: Estadística de muestras emparejadas de la dimensión almacenamiento.

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Des. est	Media error Estándar
Par 1	Cantidad de reboses por día. Pre	5.00	5	0.7071	.31623
	Cantidad de reboses por día. Post	0.000	5	0.0000	.0000
Par 2	Cantidad de agua potable perdida por reboses al día. pre	152.600	5	20.77	9.29301
	Cantidad de agua potable perdida por reboses al día. Post	0.000	5	0.0000	.0000

Tabla XXVI: Correlaciones muestras emparejadas para la dimensión almacenamiento.

Correlación de muestras emparejadas					
		N	Correlación	Estadístico t	P(T<=t)
Par 1	Cantidad de reboses por día (Pre) & Cantidad de reboses por día (Post)	5	0	15.811	0.0000
Par 2	Cantidad de agua potable perdida por reboses al día. (Pre) & Cantidad de agua potable perdida por reboses al día (Post)	5	0	16.421	0.00000

Tabla XXVII: Prueba de muestras emparejadas para la dimensión almacenamiento.

Prueba de medias emparejadas								
		Diferencias emparejadas				t	gl	P de un factor
		Media	Desv. est	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inf.	Sup.			
Par 1	Cantidad de reboses por día (Pre) & Cantidad de reboses por día (Post)	5.000	.707	4.122 0	5.877 9	15.81	4	.001
Par 2	Cantidad de agua potable perdida por reboses al día. (Pre) & Cantidad de agua potable perdida por reboses al día (Post)	152.6 00	20.779 8	126.7 9	178.4 0	16.42	4	.001

Los resultados de la prueba T-Student para muestras emparejadas indicaron que hubo una diferencia significativa entre la cantidad de reboses por día en un pre y post implementación del sistema SCADA con radioenlaces, con una media de diferencia de 5.00, un estadístico t de 15.81, grado de libertad (gl) de 4 y una significancia bilateral (p) de 0.000. De igual forma en el par dos, se analizó y se registró una diferencia significativa entre cantidad de agua potable perdida por reboses al día en un pre y post implementación del sistema, con una media de diferencia de 152.600, un estadístico t de 16.42, grado de libertad de 4 y una significancia bilateral (p) de 0.0000.

Por lo tanto, con los resultados obtenidos se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, que indica que antes de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces la cantidad de reboses por día y la cantidad de agua potable perdida por reboses es mayor.

### 3.2.1.3 Dimensión personal

Para recopilar los datos del indicador de esta dimensión (cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable) se utilizó la técnica análisis documental con su instrumento ficha de resumen (Ver Anexo5), donde se recopiló datos de la cantidad de operarios antes y después de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces. Los datos recolectados para estos indicadores se muestran en la tabla XXVIII.

*Tabla XXVIII: Promedio de personal en los meses registrados en un pre test y post test.*

Indicador	Pre test	Post test
Cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable.	7	3

La tabla XXIX y XXX muestran el registro de la cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable antes y después de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces respectivamente.

*Tabla XXIX: Detalle de la cantidad de operarios a cargo del abastecimiento de agua en un pre test.*

Cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable.	
Mes (M)	Pre Test
Agosto	7
Septiembre	7
Octubre	7
Promedio	7

*Tabla XXX: Detalle de la cantidad de operarios a cargo del abastecimiento de agua en un post test.*

Cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable.	
Mes (M)	Post Test
Noviembre	4
Diciembre	3
Enero	3
Promedio	3

## Prueba de hipótesis

Como se emplearon datos registrados tanto antes como después a la implementación del sistema SCADA con radioenlaces, se aplica la prueba de T-Student para determinar la viabilidad de la hipótesis nula, la hipótesis alternativa, el nivel de significancia y el nivel de confianza.

### Hipótesis nula

El número de operarios a cargo del abastecimiento de agua potable antes de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces es menor o igual que el número de operarios después de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces.

$$H_0: AI \leq DI$$

### Hipótesis alternativa

El número de operarios a cargo del abastecimiento de agua potable antes de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces es mayor que el número de operarios después de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces.

$$H_a: AI > DI$$

Nota:

$H_0$  —————> Hipótesis Nula

$H_a$  —————> Hipótesis alternativa

AI —————> Antes de la Implementación

DI —————> Después de la implementación

### Nivel de significancia

El nivel de significancia fue del 5% ( $\alpha = 0.05$ ), del cual se infiere que el nivel de confianza es del 95%.

### Valor estadístico

Como se puede observar en las tablas XXXI, XXXII y XXXIII, al utilizar la prueba T-Student, para muestras emparejadas, se logró evaluar el grado de significancia para validar la hipótesis.

Tabla XXXI: Estadística de muestras emparejadas de la dimensión personal.

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desv.estándar	Media de error estándar
Par 1	Cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable. (Pre)	7.0000	3	.00000	.00000
	Cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable. (Post)	3.3333	3	.57735	.33333

Tabla XXXII: Correlaciones muestras emparejadas para la dimensión personal.

Correlación de muestras emparejadas					
		N	Correlación	Estadístico t	P(T<=t)
Par 1	Cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable. (Pre)& Cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable. (Post)	3	0	11	0.0040817

Tabla XXXIII: Prueba de muestras emparejadas para la dimensión almacenamiento.

Prueba de medias emparejadas								
		Diferencias emparejadas				t	gl	P de un factor
		Media	Desv. est	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inf.	Sup.			
Par 1	Cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable. (Pre)& Cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable. (Post)	3.667	.57735	2.232	5.100	11	2	0.004

Los resultados de la prueba de muestras emparejadas indicaron que hubo una diferencia significativa en la cantidad de personal a cargo del abastecimiento de agua en un pre y post implementación del sistema SCADA con radioenlaces, con una media de diferencia de 3.6667, un estadístico t de 11, grado de libertad (gl) de 2 y una significancia bilateral (p) de 0.004081.

Por lo tanto, con los resultados obtenidos se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, la que indica, antes de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces el número de personal es mayor que después de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces.

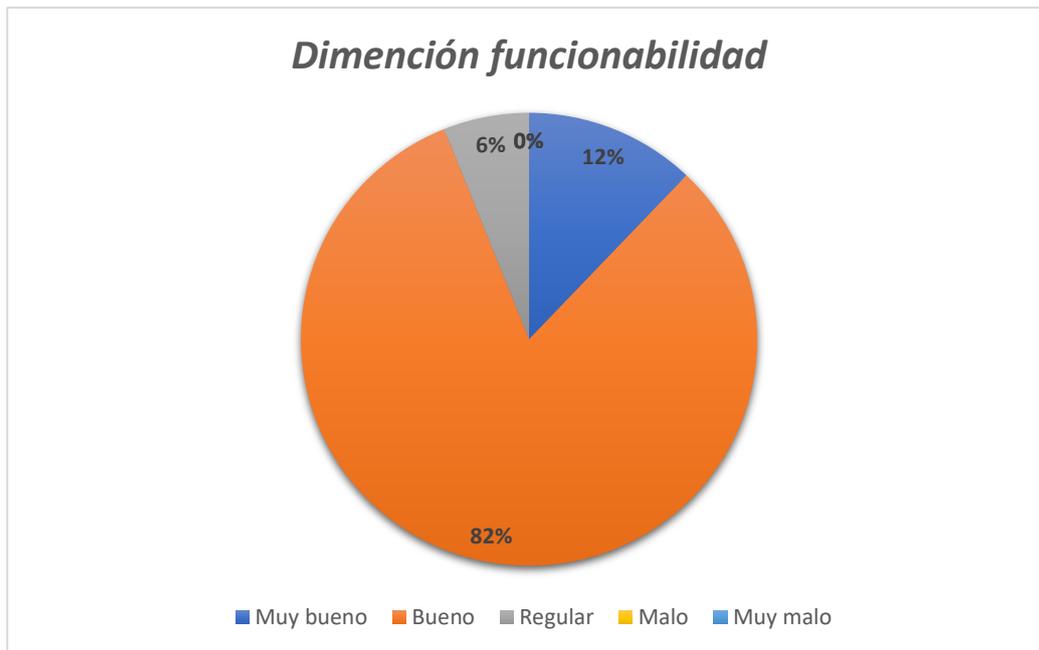
Finalmente, habiendo medido de diferente forma las dimensiones de tiempo, almacenamiento y personal y aceptando todas las hipótesis específicas relacionadas con dichas dimensiones, se acepta la hipótesis general que indica que el sistema SCADA con radioenlaces automatiza el proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pílancones- Hualgayoc.

### **3.2.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

A continuación, se presentan los hallazgos clave derivados del análisis y tratamiento de los datos de las variables en estudio. Para la variable independiente se realizó una encuesta a 3 expertos que conocen sobre sistema SCADA con radioenlaces y de esta manera se analizó las dimensiones (funcionalidad, usabilidad, fiabilidad) y para la variable dependiente se realizó una observación y un análisis documental, donde se analizó la dimensión tiempo, almacenamiento y personal, llegando a los siguientes resultados.

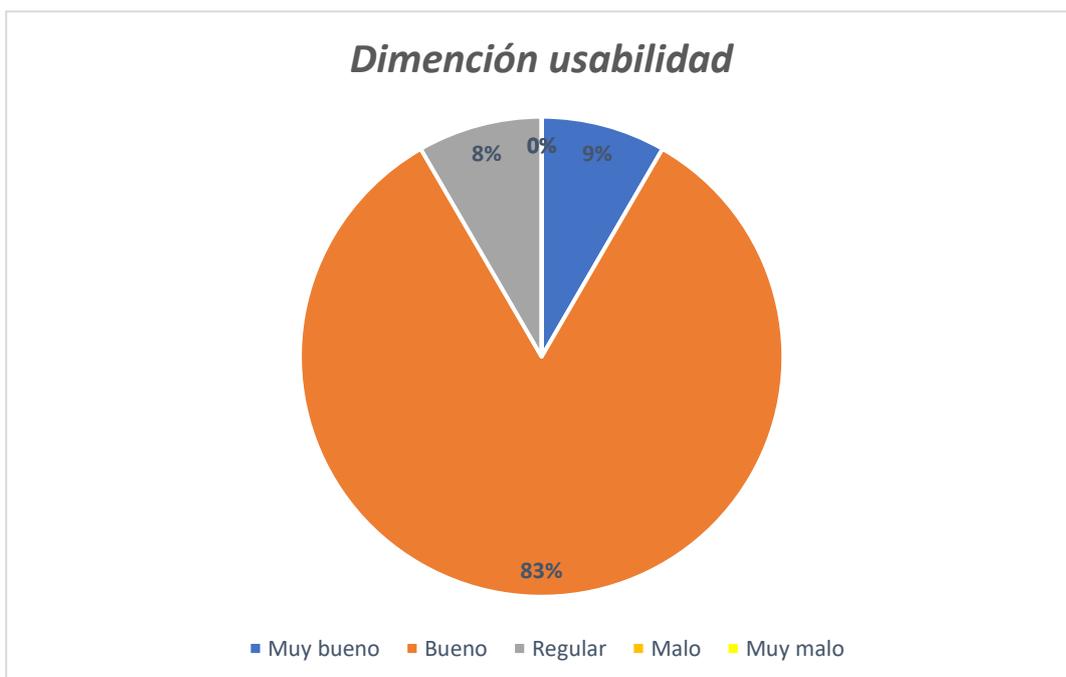
#### **3.2.2.1 Variable independiente**

Funcionalidad. La figura 68 muestra el gráfico estadístico de la dimensión funcionalidad de la variable independiente, un promedio del 12% de los encuestados indicaron que la funcionalidad del sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces es “muy bueno”, donde el sistema cubre con las expectativas planteadas en los objetivos, el 82 % indicaron que la funcionalidad del sistema es “bueno” y el 6% indicaron que la funcionalidad es “regular”.



*Fig. 68: Dimensión funcionabilidad*

Usabilidad. Respecto a esta dimensión de la variable independiente se presenta la figura 69, donde muestra que el 9% de los encuestados indicaron que la usabilidad del sistema de control y adquisición de datos es “muy buena”, asimismo el 83 % de los encuestados indicaron que la usabilidad es “buena” y el 8 % indicaron que la usabilidad del sistema es “regular”.



*Fig. 69: Dimensión usabilidad*

Fiabilidad. En relación a esta dimensión, la figura 70 revela que el 34% de los encuestados indicaron que la fiabilidad del sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces es “muy buena”, cumpliendo con lo planteado en los objetivos de la investigación, por otra parte, el 53% de los encuestados indicaron que la fiabilidad que brinda el sistema es “buena” y el 13 % indicaron que la fiabilidad del sistema es “regular”.

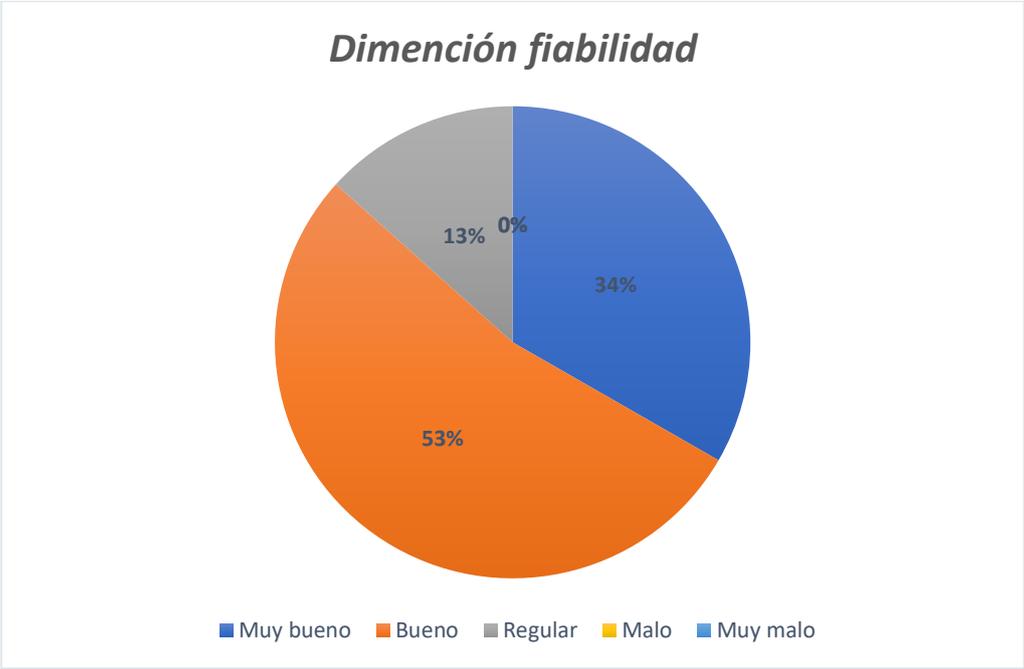


Fig. 70: Dimensión Fiabilidad

**3.2.2.2 Variable dependiente**

**3.2.2.2.1 Dimensión tiempo**

Los resultados que se obtuvo para los indicadores de la dimensión tiempo, son presentados a continuación de forma gráfica para tener una mejor interpretación.

La figura 71 muestra los resultados gráficamente sobre el tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal, comparando con el uso y no uso del sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces. Se observa que el promedio de tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 al reservorio principal es mayor sin uso del sistema, el cual esto representa el 100.00 %, mientras que, con el uso del sistema SCADA con radioenlaces, este tiempo es reducido a un 18.9%, minimizando el tiempo en un 81.1 %. Entonces este porcentaje indica que la implementación del sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces tiene

un impacto positivo en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones.

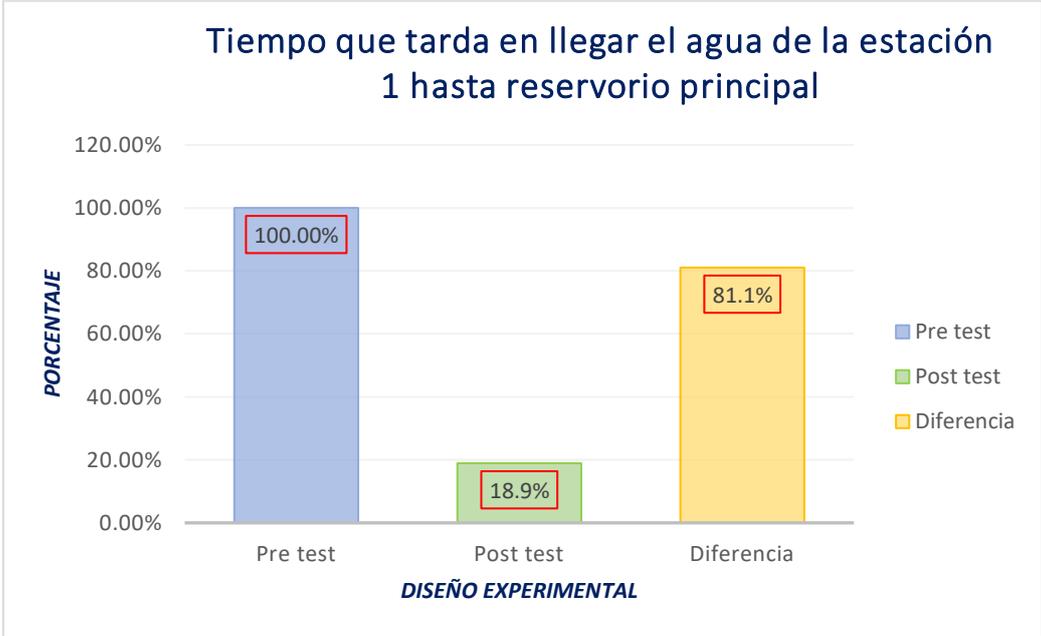


Fig. 71: Resultados de tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal

La figura 72 muestra los resultados gráficamente sobre el tiempo de traslado de operarios de una estación a otra, realizando una comparación con el uso y no uso del sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces. Se observa que el promedio de tiempo del traslado de operarios de una estación a otra es mayor sin uso del sistema, el cual esto representa el 100.00 %, mientras que, haciendo uso del sistema SCADA con radioenlaces, este tiempo es reducido a un 18.9%, porque los operarios no tienen la necesidad de trasladarse porque la visualización y el control del proceso de abastecimiento de agua potable se tiene centralizada en la estación 1, minimizando el tiempo en un 81.1%. Entonces este porcentaje indica que la implementación del sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces tiene un alto impacto en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones.

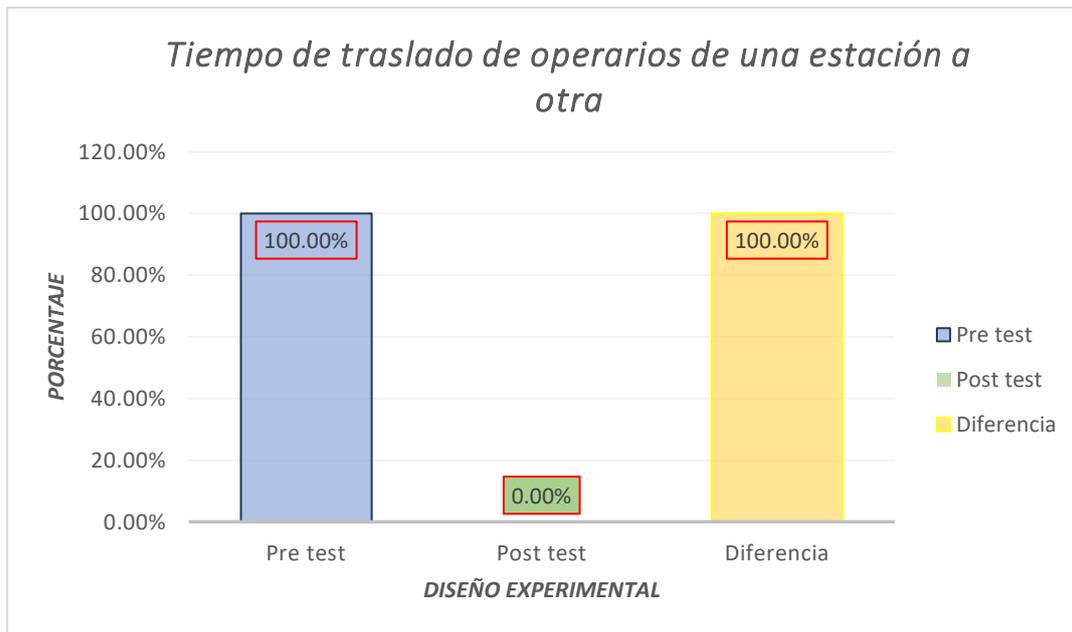


Fig. 72: Resultados de tiempo de traslado de operarios de una estación a otra

La figura 73 muestra los resultados gráficamente sobre el tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal, realizando una comparación con el uso y no uso del sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces. Se observa que el promedio de tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal es mayor sin usar del sistema, el cual esto representa el 100.00 %, mientras que, utilizando del sistema SCADA con radioenlaces, este tiempo es reducido a un 34.35%, por lo tanto, se minimiza el tiempo en un 65.65%. Entonces este porcentaje indica que la implementación del sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces tiene un efecto positivo en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones.

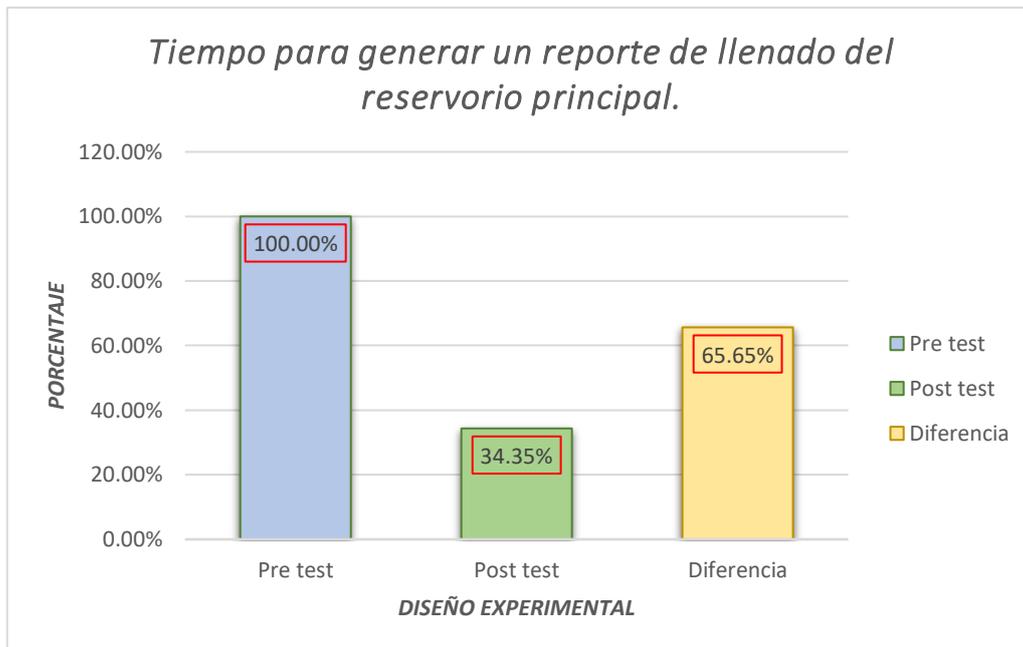


Fig. 73: Resultados del tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal.

### 3.2.2.2.2 Dimensión almacenamiento

En este apartado se describe los resultados obtenidos de los indicadores de la dimensión almacenamiento, así mismo, son representados gráficamente para tener una mejor interpretación.

La figura 74 muestra los resultados gráficamente sobre la cantidad de reboses por día, realizando una comparación con el uso y no uso del sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces. Se observa que el promedio de la cantidad de reboses por día es mayor sin uso del sistema, el cual esto representa el 100.00 %, mientras que, haciendo uso del sistema SCADA con radioenlaces, este tiempo es reducido a un 00.00%. Entones este porcentaje indica que la implementación del sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces tiene un efecto positivo en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pilancones.

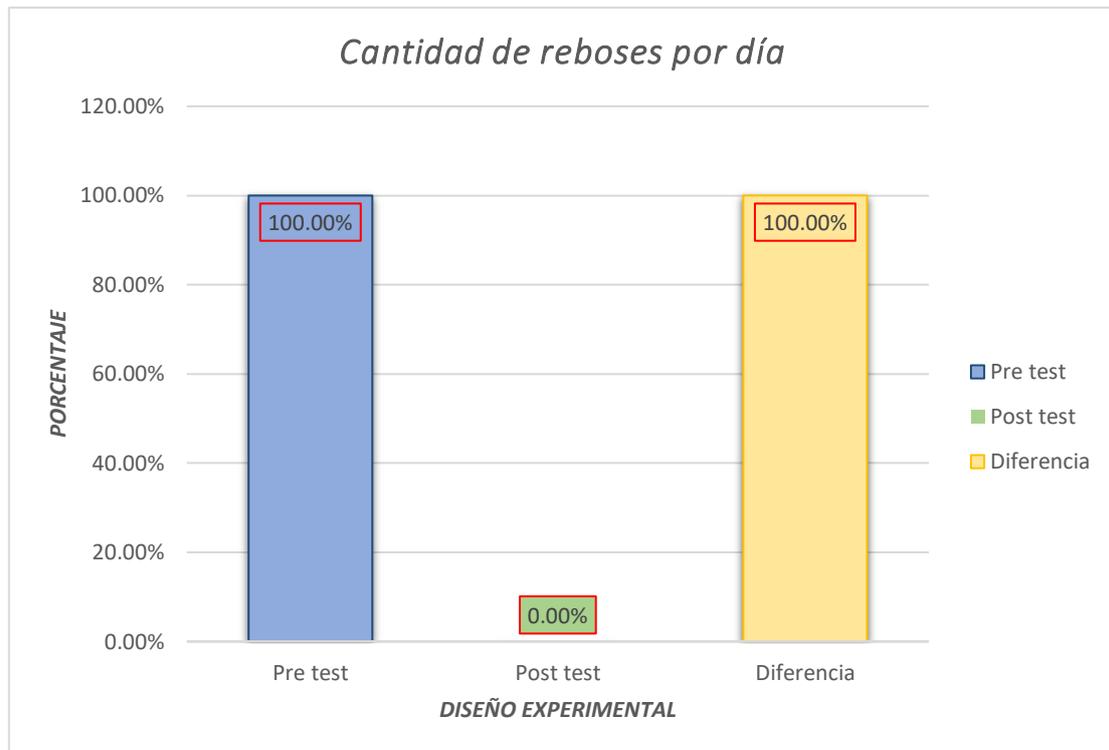


Fig. 74: Resultado de la cantidad de reboses por día.

La figura 75 muestra los resultados gráficamente sobre la cantidad de agua potable perdida por reboses al día, realizando una comparación con la utilización y la ausencia del sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces. Se observa que el promedio de la cantidad de agua potable perdida por reboses al día es mayor sin uso del sistema, el cual esto representa el 100.00 %, sin embargo, al utilizar el sistema SCADA con radioenlaces, este tiempo es reducido a un 100.00%. Entones este porcentaje señala que la puesta en marcha del sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces tiene un alto efecto en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones.

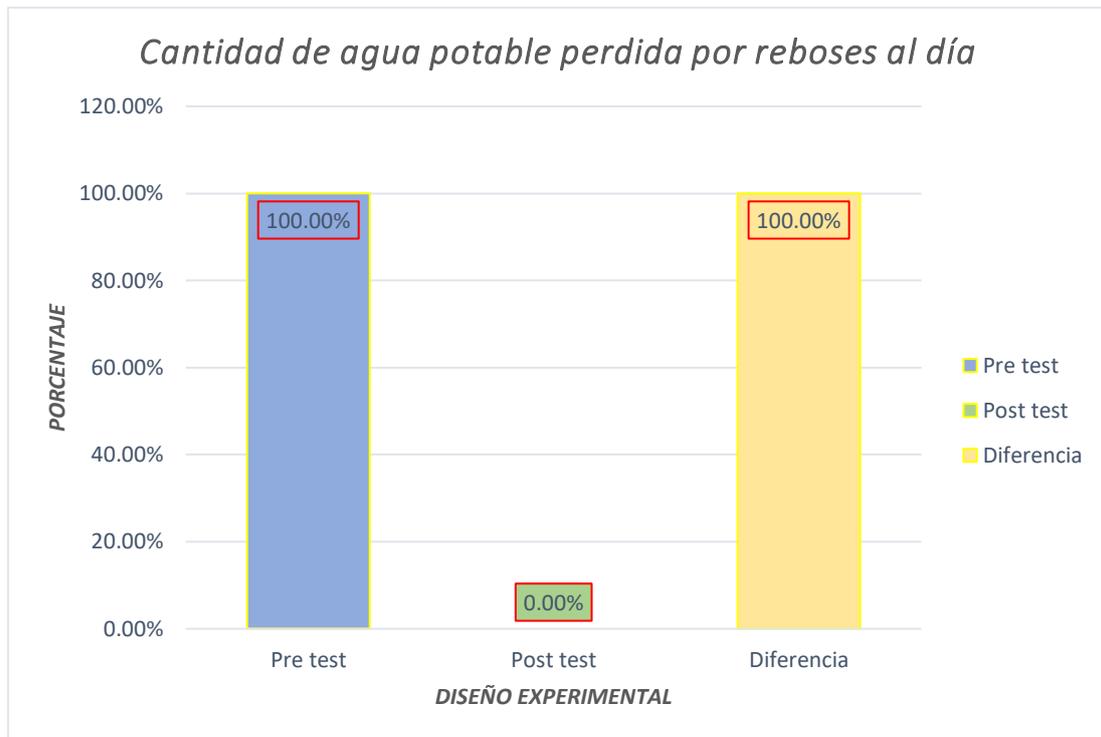
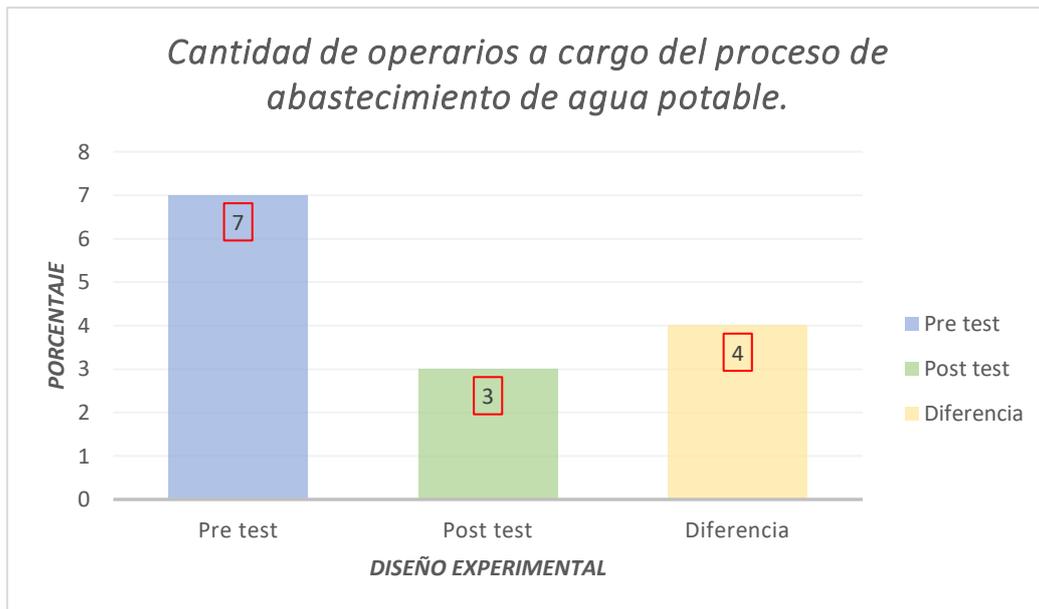


Fig. 75: Resultado de cantidad de agua potable perdida por reboses al día.

### 3.2.2.2.3 Dimensión personal

En este apartado se describe los resultados obtenidos de los indicadores de la dimensión personal, así mismo, son representados gráficamente para facilitar una mejor interpretación.

La figura 76 muestra los resultados gráficos acerca de la cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua, realizando una comparación con el uso y no uso del sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces. Se observa que sin hacer uso del sistema existen 7 operarios la cual esto representa el 100.00%, mientras que, haciendo uso del sistema con radioenlaces se reduce la cantidad de operarios a 3, el cual representa el 42.86 % entonces hay una reducción de 4 operarios la cual representa el 57,14 %. Entonces, este porcentaje indica que la implementación del sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces tiene un alto efecto en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones.



*Fig. 76: Resultado de la cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable.*

Realizando un análisis respecto al uso de tecnología en el mundo, según [34] durante los últimos 200 años, millones de puestos de trabajo han sido reemplazados por automatización, al mismo tiempo, se ha registrado un aumento de los ingresos reales, entonces, la nueva tecnología puede reducir el número de empleados existentes, pero también crear una nueva demanda, ya sea mediante el aumento de la productividad y, por consiguiente, de los ingresos reales o mediante la creación de nuevos productos. Entonces, La automatización del proceso de abastecimiento en la comunidad de Pílancones tiene como resultado la reducción de personal, pero al mismo tiempo garantiza el suministro de agua 24/7 a las 112 familias de la comunidad, lo que mejora la calidad del servicio, así mismo, reduce pérdidas de agua potable por reboses al contar con alarmas, es así que gracias a los datos en tiempo real se disminuyen tanto riesgos de reboses como consumos innecesarios de energía, reforzando la viabilidad económica y técnica de largo plazo del proyecto.

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

A continuación, se detallan el análisis de resultados y discusión con los estudios realizados anteriormente por otros autores, respecto a la dimensión tiempo, se analizaron tres indicadores: tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal, donde se logró reducir en un 81.1%, así mismo, se logró reducir en un 100% el tiempo de traslado de operarios de una estación a otra, finalmente se logró reducir en un 65.65% el tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal, entonces los resultados demuestran que el uso del sistema SCADA con radioenlaces tiene un alto efecto en esta dimensión.

Realizando un análisis comparativo, estos resultados coinciden con la investigación realizada por Mogrovejo [7], donde pudo reducir el tiempo en respuesta en reservorios en un 98.00% y también reducir el tiempo de puesta en marcha los reservorios en un 97.33 %. La reducción de los tiempos en esta investigación fue producto del uso del sistema SCADA, donde se utilizó componentes como red inalámbrica, HMI, controladores y sensores, de esta manera visualizando y controlando el proceso en un solo lugar, guardando relación con la investigación de Jácome [5], quien pudo utilizar dispositivos semejantes y lograr resultados similares. Por otra parte, esta investigación guarda semejanza con la de Negrete y Díaz [10], la cual también redujeron el tiempo en recopilar información de volumen, presión, etc. Por otro lado, esta investigación guarda relación con la investigación de Florencio [8], donde concluye que la visualización y control se hace en tiempo real y de un solo lugar.

Respecto a la dimensión almacenamiento se analizaron 2 indicadores, en los que se logró disminuir el número de reboses por día en un 100.00%, así mismo, reducir la cantidad de agua potable perdida por reboses al día en un 100.00 %, estos resultados evidencian el significativo efecto que tiene el uso del sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces en el proceso de abastecimiento de agua potable.

Estos resultados guardan relación con la investigación de Paredes [9], donde consiguió reducir en un 100% el desperdicio de agua por reboses, así mismo, este estudio está vinculado con la tesis de Villalobos [6], donde señala que el sistema SCADA ayuda en el control de niveles de agua evitando el desborde de la misma.

Por otra parte, se analizó el indicador cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable de la dimensión personal, donde se logró reducir de 7 a 3 operarios a cargo del proceso, esto representa una reducción de 57.14 %.

Estos resultados guardan relación con los hallazgos que obtuvo Mogrovejo [7], donde logra reducir en 58.40 % el trabajo de horas hombre. Adicionalmente, este proyecto guarda relación con la investigación de Gonzales [35], que aborda el desarrollo de un prototipo de solución para monitorear y controlar el flujo y nivel de agua de una sola estación y así reducir personal a cargo de algunos procesos. Finalmente, estos resultados que se obtuvieron tienen una similitud significativa con la investigación de Florencio [8], en cuanto al tipo, método, diseño, que se utilizó, componentes de sistema SCADA y red inalámbrica, logrando visualizar y controlar desde un solo lugar todo el proceso de abastecimiento de agua.

Respecto a las dimensiones de la variable independiente, se pudo analizar lo siguiente: en cuanto a la dimensión funcionalidad; el 12% de los encuestados indicaron “muy bueno”, mientras que el 82% indicaron que la funcionalidad del sistema es “bueno” y el 6% indicaron que es “regular”; respecto a la dimensión usabilidad, el 9% indicaron que es “muy bueno”, el 83% indicaron que la usabilidad es “bueno” y el 8% indicaron que la usabilidad es “regular” y finalmente se analizó la dimensión fiabilidad, donde el 34% de los encuestados indicaron que es “muy buena”, el 53% indicaron que la fiabilidad es “buena” y el 13% indicaron que es “regular”.

Estos resultados obtenidos están vinculados con los hallazgos de Mogrovejo [7], el mismo que realizó un cuestionario para analizar el sistema SCADA donde el 80 % indicaron que el sistema es bueno. Entonces con estos resultados obtenidos se determina que el sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces es muy importante para automatizar procesos industriales.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

Se acepta la hipótesis general, afirmando que el sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces, automatiza el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones-Hualgayoc. El uso del sistema SCADA con radioenlaces minimiza tiempos, reduce la cantidad de reboses y reduce el número de operarios a cargo del proceso de abastecimiento.

Los resultados obtenidos en cuanto a la funcionabilidad, usabilidad y fiabilidad del sistema de control y adquisición de datos con radioenlaces, reflejan que el uso tiene un gran beneficio en el proceso de abastecimiento de agua potable, donde el 94%, 92% y el 82% indicaron “bueno” respectivamente

El sistema SCADA con radioenlaces tuvo un efecto positivo sobre la dimensión tiempo, reduciendo el 81.1% el tiempo que tarda el agua de ir de la estación 1 al reservorio general, redujo en 100% el tiempo de traslado de operarios de una estación a otra y redujo el 65% el tiempo para generar un reporte del llenado del reservorio general.

El sistema SCADA con radioenlaces mejoró significativamente el almacenamiento del agua potable en las estaciones y reservorio principal, reduciendo el 100% de la cantidad de reboses y el agua perdida por reboses al día.

El sistema SCADA con radioenlaces tiene un efecto positivo en la dimensión personal, reduciendo el número de operarios de 7 a solo 3, esto representa una reducción del 57.14%.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Para futuras investigaciones, actualizaciones o ampliaciones del sistema, se recomienda sustituir la red inalámbrica por una red cableada, implementar sistemas fotovoltaicos como respaldo ante la falta de energía eléctrica comercial, y realizar un mantenimiento preventivo a los equipos del sistema SCADA con radioenlaces para evitar posibles fallas.

Al ver el efecto positivo que tiene el uso de un sistema de control y adquisición de datos en un proceso, se recomienda en futuras investigaciones, extender a otros lugares de la región y el país donde existen problemas similares y de esta manera ahorrar mucho más líquido elemento ya que es fundamental para la supervivencia del hombre.

Respecto a la reducción de personal, se recomienda que esta sea gestionada de manera responsable, reorientando a los trabajadores afectados hacia tareas de mantenimiento preventivo y gestión de datos dentro del sistema SCADA. Estas funciones no solo son fundamentales para el buen funcionamiento a largo plazo del sistema, sino que también ofrecen una oportunidad de mejorar la calidad del servicio y la sostenibilidad de la operación. Además, los trabajadores reubicados deben recibir capacitación en las nuevas áreas de trabajo, lo que facilitará su transición y les permitirá contribuir de manera efectiva al mantenimiento y mejora continua del sistema. De esta manera, la reducción de personal no solo se convierte en una estrategia de optimización de costos, sino también en una oportunidad para fortalecer la operación y maximizar el valor de los recursos humanos en áreas clave.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UNESCO, «Informe Mundial del Agua,» 23 Octubre 2023. [En línea]. Available: <https://www.unesco.org/es/articles/informe-mundial-del-agua-senala-riesgo-inminente-de-una-crisis-hidrica>. [Último acceso: febrero 2024].
- [2] A. Fernández Cirelli, «El Agua en Latinoamérica,» de *El Agua en Latinoamérica*, Argentina, 2018.
- [3] G. Garatea, «Déficit en acceso a agua potable y saneamiento,» p. 2, 2019.
- [4] E. Comercio, «Rebose de reservorio de agua afecta a varias viviendas,» 31 enero 2019. [En línea]. Available: <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/sedapal-independencia-viviendas-afectadas-rebose-reservorio-agua-video-noticia-nndc-602984-noticia/?ref=ecr>. [Último acceso: Febrero 2024].
- [5] L. V. Jácome López, «Atomatización del bombeo de agua a través del control del nivel de la cisterna de la estación Miraflores-EP EMAPA,» Ambato-Ecuador, 2015.
- [6] D. S. Villalobos Escobar, «Desarrollo de un sistema SCADA para controlar un simulador de procesos industriales a través de redes de internet,» Colombia, 2017.
- [7] P. A. Rodríguez Mogrovejo, «Diseño y simulacion de un sistema Scada para el control y monitoreo de reservorios de agua potable usando un algoritmo de control mediante una red inalámbrica en Arequipa,» Arequipa, 2019.
- [8] P. P. Florencio Inga, «Desarrollo del Sowitzware de un sistema SCADA para la distribucion de agua potable en la quebrada de Machay,» Lima, 2012.
- [9] K. D. Paredes Sandoval, «Sistema de control y monitoreo para la distribucion de agua potable en la ciudad de Lambayeque,» Lambayeque, 2021.

- [10] J. Negrete Ruiz y D. Díaz Burgos, «Diseño de un sistema SCADA con radioenlaces para mejorar la distribución de agua potable en la ciudad de Chiclayo,» Chiclayo, 2019.
- [11] M. Gonzales Vicente, «Prototipo de solución para monitoreo y control remoto de una red de distribución de agua potable usando la tecnología LoRaWAN,» Lima, 2022.
- [12] E. Perez Lopez, «Los sistemas SCADA en la automatización industrial,» de *Sistemas SCADA*, Costa Rica, 2016, p. 34.
- [13] A. Rodriguez Penin, *Sistemas SCADA*, Barcelona: Marcombo, 2007, p. 460.
- [14] C. R. Romero Tigmasa, «Sistema SCADA,» Ecuador, 2012.
- [15] L. Corrales Paucar, «Automatización Industrial,» de *Sistemas SCADA*, Quito, 2017, p. 57.
- [16] P. A. Rodriguez Mogrovejo, «Sistema SCADA para el control monitoreo de reservorios de agua potable,» Arequipa, 2019.
- [17] C. Ramírez Cortéz, «Controladores lógicos programables,» Chile, 2011.
- [18] F. Vázquez Gallego, «Sensores y actuadores,» Barcelona, 2017, p. 24.
- [19] Keyence, «Fundamentos del sensor,» Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/#:~:text=Como%20su%20nombre%20lo%20indica,la%20emisi%C3%B3n%20y%20la%20recepti%C3%B3n..> [Último acceso: 24 febrero 2024].
- [20] Microsonic, «Sensores ultrasónicos,» [En línea]. Available: <https://www.microsonic.de/es/suporte/ultrasonic-tecnolog%C3%ADa/principio.htm>. [Último acceso: 25 febrero 2024].

- [21] J. C. Acevedo Bedoya y A. Gutierrez Quintero, Introducción a las redes, Colombia, 2017, p. 43.
- [22] G. Solutions, «ZooStock,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.zoostock.com/conectividad-inalambrica/que-es-un-radioenlace-y-como-funciona>. [Último acceso: Viernes Febrero 2024].
- [23] G. Gonzales Menendez, «Sistema de radienlaces para comunicaciones en ambito industrial,» Catalunya, 2005.
- [24] D. L. Cardenas Jaramillo, «Estudios y diseños definitivos del sistema de agua potable de la comunidad Cantón paute, provincia del azuay,» Cuenca, 2010.
- [25] J. C. Carhuapoma Mendoza y A. Chauayo Durán, «Sistema de abastecimiento de agua potable,» Lima, 2019.
- [26] J. M. Jimenés Teran, «Diseño de sistemas de agua potable,» Veracruz, 2013.
- [27] A. Roig, Procesos, Barcelona, 2019, p. 229.
- [28] F. Torres y C. Fernández, «Automatización,» España, 2015.
- [29] M. A. Brito Saldarriaga, «Metodología para diseño de circuitos LADDER,» Pereira-Colombia, 2010.
- [30] S. Carrasco Diaz, Metodologia de la investigacion cientifica, Lima: San Marcos, 2005, p. 476.
- [31] R. Hernandez Sampieri y C. Fernandes Collado, Metodología de la investigación, México, 2010, p. 656.
- [32] E. Rodriguez Monguel, Metodologia de la Ivestigacion, Tabasco, 2015, p. 184.

- [33] R. S. Pressman, ingeniería del software, Séptima ed., 2005, p. 805.
- [34] O. n. d. trabajo, Evolucion tecnologica y empleo en las industrias, Ginebra, 2018, p. 107.
- [35] M. D. Gonzales Vicente, «Prototipo de solución para monitoreo y control remoto de una red de distribucion de agua potable usando la tecnología LoRaWAN,» Lima, 2022.

## ANEXOS

### ANEXO 1: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla XXXIV: Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICAS/INSTRUMENTOS
<b>VI:</b> Sistema SCADA con radioenlaces	El sistema SCADA permite monitorear y controlar en tiempo real un proceso.	Funcionalidad Usabilidad Fiabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Nivel de satisfacción con la facilidad de uso del sistema SCADA con radioenlaces.</li> <li>❖ Nivel de satisfacción con la funcionalidad del sistema SCADA con radioenlaces.</li> <li>❖ Nivel de satisfacción respecto a la información que genera el sistema SCADA con radioenlaces.</li> <li>❖ Nivel de satisfacción respecto a las alarmas que genera el sistema SCADA con radioenlaces.</li> </ul>	Encuesta/Cuestionario
<b>VD:</b> Proceso de abastecimiento de agua potable	Cantidad de agua almacenada teniendo en cuenta un determinado tiempo y costo y número de operarios en el proceso de abastecimiento de agua potable.	Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Cantidad de agua potable perdida por reboses al día.</li> <li>❖ Cantidad de reboses por día.</li> </ul>	Análisis documental/Ficha resumen
		Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal</li> <li>❖ Tiempo de traslado de operarios de una estación a otra.</li> <li>❖ Tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal</li> </ul>	Observación/Ficha de observación
		Personal	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable</li> </ul>	Análisis documental/Ficha resumen

## ANEXO 2. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla XXXV: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES
¿Cuál es el efecto de la implementación de un sistema SCADA con radioenlaces en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pilancones-Hualgayoc?	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Determinar el efecto de la implementación de un sistema SCADA con radioenlaces en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pilancones-Hualgayoc.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>La implementación de un sistema SCADA con radioenlaces automatizará el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pilancones-Hualgayoc.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Sistema SCADA con Radioenlaces</p>	<p>-Nivel de satisfacción con la facilidad de uso del sistema SCADA con radioenlaces.</p> <p>-Nivel de satisfacción con la funcionalidad del sistema SCADA con radioenlaces.</p> <p>-Nivel de satisfacción respecto a la información que genera el sistema SCADA con radioenlaces.</p> <p>-Nivel de satisfacción respecto a las alarmas que genera el sistema SCADA con radioenlaces.</p>
	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>-Determinar el efecto del sistema SCADA con radioenlaces en el almacenamiento de agua potable tanto en las estaciones como el reservorio principal.</p> <p>-Determinar el efecto del sistema SCADA con radioenlaces en el tiempo de llenado del reservorio principal de la comunidad de Pilancones-Hualgayoc.</p> <p>-Determinar el efecto del sistema SCADA con radioenlaces en el número de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pilancones Hualgayoc.</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>-La implementación del sistema SCADA con radioenlaces mejora el almacenamiento de agua potable tanto en las estaciones como el reservorio principal.</p> <p>-La implementación del sistema SCADA con radioenlaces minimiza el tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 al reservorio principal de la comunidad de Pilancones Hualgayoc.</p> <p>-La implementación del sistema SCADA con radioenlaces reduce el número de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pilancones Hualgayoc.</p>	<p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>Proceso Abastecimiento de agua potable</p>	<p>-Cantidad de reboses por día.</p> <p>-Cantidad de agua potable perdida por reboses al día.</p> <p>-Tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal</p> <p>-Tiempo de traslado de operarios de una estación a otra.</p> <p>-Tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal</p> <p>-Cantidad de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable.</p>

### ANEXO 3. CUESTIONARIO

Cuestionario aplicado a expertos para validar el sistema SCADA con radioenlaces.

Tabla XXXVI: Cuestionario dirigido a Expertos.

Cuestionario para validar el sistema SCADA con radioenlaces						
Encuestador: Wilmer García López				Fecha: .../.../...		
Objetivo: Medir la dimensión funcionalidad, usabilidad y fiabilidad, respecto a la variable independiente (sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces).						
Instrucciones: Responda las preguntas de acuerdo a su percepción, marcando con un check (✓) o una equis (X) en el recuadro.						
Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno		
1	2	3	4	5		
Datos generales del Experto: Entidad en la que labora: ..... Cargo que desempeña: .....						
Cuestionario				Valor cuantitativo		
				1	2	3
<b>Usabilidad</b>						
1	La interfaz del sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces es fácil de usar e interpretar.					
2	El diseño del sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces guarda contraste con el color de fondo.					
3	El diseño de la interfaz del sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces resulta ser agradable.					
4	El diseño de las ventanas del sistema guarda contraste con la pantalla principal.					
<b>Funcionalidad</b>						
5	El sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces permite la visualización de todo el proceso de abastecimiento de agua potable.					

6	El sistema de control y adquisición de datos (SCADA) permite visualizar el proceso de abastecimiento de agua potable en tiempo real.					
7	El sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces permite observar el nivel actual del reservorio principal					
8	Las funciones disponibles en el sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces cumplen con toda la automatización del proceso de abastecimiento de agua potable.					
9	La funcionalidad del sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces cumple con todos los objetivos propuestos en la investigación.					
10	El sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces genera alarmas ante una falla en el proceso.					
11	Se utiliza el protocolo TCP/IP en la red de radioenlaces					
12	Los radioenlaces cumplen con los estándares de calidad					
13	El ancho de banda que se utiliza en la red inalámbrica es eficiente					
14	Los radioenlaces tienen la capacidad de integrar todas las estaciones del proceso de abastecimiento de agua potable.					
15	El sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces genera suficiente información.					
<b>Fiabilidad</b>						
16	La información que genera el sistema de control y adquisición de datos (SCADA) con radioenlaces brinda suficiente confianza para realizar el análisis de datos.					
17	La cantidad de acciones que se realiza en el sistema para automatizar el proceso son mínimas.					
18	El mensaje de bomba en falla se muestra de forma clara y precisa					
19	La información que se muestra en la leyenda está relacionada con el funcionamiento de forma clara y precisa					
20	El estilo de fuente y disposición de contenido en la interfaz del facilitan una visualización legible.					

## ANEXO 4: FICHA DE OBSERVACIÓN

Tabla XXXVII: Ficha de observación pre test.

Ficha de observación N°1			PRE TEST
<b>Título de la investigación:</b> Efecto de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pilancones-Hualgayoc.			
<b>Objetivo:</b> Obtener información acerca de la dimensión tiempo de la variable dependiente del proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pilancones-Hualgayoc			
<b>Observado por:</b> Wilmer García López			<b>Herramienta.</b> Cronómetro
Indicador	Tipo de actividad	Tiempo (min)	Fecha
Tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal	Manual	T1:	
		T2:	
		T3:	
		T4:	
		T5:	
		T6:	
Tiempo de Traslado del personal de una estación a otra	Manual	T1:	
		T2:	
		T3:	
		T4:	
		T5:	
		T6:	
Tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal.	Manual	T1:	
		T2:	
		T3:	
		T4:	
		T5:	
		T6:	

Tabla XXXVIII: Ficha de observación post test

Ficha de observación N°1			POST TEST
<b>Título de la investigación:</b> Efecto de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones-Hualgayoc.			
<b>Objetivo:</b> Obtener información acerca de la dimensión tiempo de la variable dependiente del proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pílancones-Hualgayoc			
<b>Observado por:</b> Wilmer García López			<b>Herramienta</b> Cronómetro
Indicador	Tipo de actividad	Tiempo (min)	Fecha
Tiempo que tarda en llegar el agua de la estación 1 hasta reservorio principal.	Automático	T1:	
		T2:	
		T3:	
		T4:	
		T5:	
		T6:	
Tiempo de Traslado del personal de una estación a otra.	Automático	T1:	
		T2:	
		T3:	
		T4:	
		T5:	
		T6:	
Tiempo para generar un reporte de llenado del reservorio principal.	Automático	T1:	
		T2:	
		T3:	
		T4:	
		T5:	
		T6:	

## ANEXO 5: FICHA DE RESUMEN

Tabla XXXIX: Ficha de resumen pre test.

Ficha de resumen N°1					PRE TEST	
<b>Título de la investigación:</b> Efecto de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pílancones-Hualgayoc.						
<b>Objetivo:</b> Obtener información acerca de la dimensión almacenamiento, personal de la variable dependiente del proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pílancones-Hualgayoc						
<b>Observado por:</b> Wilmer García López						
Dimensión: Almacenamiento			Fecha:			
Indicador	Días					Promedio
	1	2	3	4	5	
Cantidad de reboses por día						
Cantidad de agua potable perdida						
Dimensión: Personal			Fecha:			
Indicador	Meses					
	1		2		3	
Número de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable						

Tabla XL: Ficha de resumen 2.

Ficha de resumen N°1					POST TEST	
<b>Título de la investigación:</b> Efecto de la implementación del sistema SCADA con radioenlaces en el proceso de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Pilancones-Hualgayoc.						
<b>Objetivo:</b> Obtener información acerca de la dimensión almacenamiento, personal de la variable dependiente del proceso de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pilancones-Hualgayoc						
<b>Observado por:</b> Wilmer García López						
Dimensión: Almacenamiento			Fecha:			
Indicador	Días					Promedio
	1	2	3	4	5	
Número de reboses						
Cantidad de agua potable perdida						
Dimensión: Personal			Fecha:			
Indicador	Meses					
	1		2		3	
Número de operarios a cargo del proceso de abastecimiento de agua potable						

## ANEXO 6. VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOJO DE DATOS POR EXPERTOS

### FICHA PARA VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

#### REFERENCIA

**Experto:** Paul Omar Cueva Araujo  
**Especialidad:** Ingeniero de Sistemas  
**Cargo actual:** Director de Servicios Académicos - UNC  
**Grado académico:** Maestro  
**Institución:** Universidad Nacional de Cajamarca  
**Tipo de instrumento:** Cuestionario.  
**Lugar y fecha:** Cajamarca, 02 de enero de 2025

#### TABLA DE VALORACIÓN POR EVIDENCIAS

N°	EVIDENCIAS	VALORACION					
		5	4	3	2	1	0
1	Pertinencia de indicadores	X					
2	Formulado con lenguaje apropiado		X				
3	Adecuado para los sujetos en estudio		X				
4	Facilita la prueba de hipótesis	X					
5	Suficiencia para medir la variable	X					
6	Facilita la interpretación del instrumento	X					
7	Acorde al avance de la ciencia y tecnología		X				
8	Expresado en hechos perceptibles		X				
9	Tiene secuencia lógica	X					
10	Basado en aspectos teóricos	X					
	<b>Total</b>						

Coeficiente de valoración porcentual:  $c = \dots 46 \dots$

#### OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES

Los terminos tecnicos se podrian explicar de manera mas sencilla de manera que sean entendibles para los encuestados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
DIRECCION DE SERVICIOS ACADÉMICOS

M.Sc. Ing. Paul Omar Cueva Araujo  
DIRECTOR

Firma y sello del Experto

## REFERENCIA

**Experto:** Paul Omar Cueva Araujo  
**Especialidad:** Ingeniero de Sistemas  
**Cargo actual:** Director de Servicios Académicos - UNC  
**Grado académico:** Maestro  
**Institución:** Universidad Nacional de Cajamarca  
**Tipo de instrumento:** Ficha de Observación.  
**Lugar y fecha:** Cajamarca, 02 de enero de 2025

## TABLA DE VALORACIÓN POR EVIDENCIAS

N°	EVIDENCIAS	VALORACION					
		5	4	3	2	1	0
1	Pertinencia de indicadores	X					
2	Formulado con lenguaje apropiado		X				
3	Adecuado para los sujetos en estudio		X				
4	Facilita la prueba de hipótesis	X					
5	Suficiencia para medir la variable	X					
6	Facilita la interpretación del instrumento	X					
7	Acorde al avance de la ciencia y tecnología		X				
8	Expresado en hechos perceptibles		X				
9	Tiene secuencia lógica	X					
10	Basado en aspectos teóricos	X					
	Total	30	16				

Coefficiente de valoración porcentual:  $c = \dots 46 \dots$

## OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES

Los terminos tecnicos se podrian explicar de manera mas sencilla de manera que sean entendibles para los encuestados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
 DIRECCION DE SERVICIOS ACADÉMICOS  
  
 Sr. Ing. Paul Omar Cueva Araujo  
 DIRECTOR

Firma y sello del Experto

## REFERENCIA

**Experto:** Paul Omar Cueva Araujo  
**Especialidad:** Ingeniero de Sistemas  
**Cargo actual:** Director de Servicios Académicos - UNC  
**Grado académico:** Maestro  
**Institución:** Universidad Nacional de Cajamarca  
**Tipo de instrumento:** Ficha de resumen.  
**Lugar y fecha:** Cajamarca, 02 de enero de 2025

## TABLA DE VALORACIÓN POR EVIDENCIAS

N°	EVIDENCIAS	VALORACION					
		5	4	3	2	1	0
1	Pertinencia de indicadores	X					
2	Formulado con lenguaje apropiado		X				
3	Adecuado para los sujetos en estudio		X				
4	Facilita la prueba de hipótesis	X					
5	Suficiencia para medir la variable	X					
6	Facilita la interpretación del instrumento	X					
7	Acorde al avance de la ciencia y tecnología	X					
8	Expresado en hechos perceptibles		X				
9	Tiene secuencia lógica	X					
10	Basado en aspectos teóricos		X				
	Total	30	16				

Coeficiente de valoración porcentual:  $c = \dots 46 \dots$

## OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES

Los términos técnicos se podrían explicar de manera más sencilla de manera que sean entendibles para los encuestados.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS  
 Sr. Ing. Paul Omar Cueva Araujo  
 DIRECTOR

Firma y sello del Experto

## REFERENCIA

Experto: Carlos Alfonso Pérez Cerna

Especialidad: Ingeniero de Sistemas

Cargo actual: Encargado del Área de Infraestructura y Soporte de TI de la  
Municipalidad Provincial de Cajamarca.

Grado académico: Maestro

Institución: Universidad Politécnica de Valencia

Tipo de instrumento: Cuestionario.

Lugar y fecha: Cajamarca 09/01/2025

### TABLA DE VALORACIÓN POR EVIDENCIAS

Nº	EVIDENCIAS	VALORACION					
		5	4	3	2	1	0
1	Pertinencia de indicadores	X					
2	Formulado con lenguaje apropiado		X				
3	Adecuado para los sujetos en estudio		X				
4	Facilita la prueba de hipótesis	X					
5	Suficiencia para medir la variable	X					
6	Facilita la interpretación del instrumento	X					
7	Acorde al avance de la ciencia y tecnología	X					
8	Expresado en hechos perceptibles	X					
9	Tiene secuencia lógica	X					
10	Basado en aspectos teóricos		X				
	<b>Total</b>	35	12				

Coeficiente de valoración porcentual:  $c = 47$

### OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES

- Considerar en el apartado de usabilidad si la interfaz del sistema SCADA es amigable para el usuario (operador). Al parecer lo indica en el ítem 3 pero no está claro.
- Se recomienda considerar una pregunta, que si el sistema de comunicaciones que utiliza el sistema SCADA es susceptible a los cambios climáticos.



Firmado digitalmente por PEREZ  
CERNA Carlos Alfonso FAU  
20143623042 hard  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 09.01.2025 20:59:02 -05:00

.....  
**Firma y sello del Experto**

## REFERENCIA

Experto: Carlos Alfonso Pérez Cerna  
Especialidad: Ingeniero de Sistemas  
Cargo actual: Encargado del Área de Infraestructura y Soporte de TI de la  
Municipalidad Provincial de Cajamarca.  
Grado académico: Maestro  
Institución: Universidad Politécnica de Valencia  
Tipo de instrumento: Ficha de resumen.  
Lugar y fecha: Cajamarca 09/01/2025

## TABLA DE VALORACIÓN POR EVIDENCIAS

N°	EVIDENCIAS	VALORACION					
		5	4	3	2	1	0
1	Pertinencia de indicadores		X				
2	Formulado con lenguaje apropiado		X				
3	Adecuado para los sujetos en estudio	X					
4	Facilita la prueba de hipótesis	X					
5	Suficiencia para medir la variable	X					
6	Facilita la interpretación del instrumento	X					
7	Acorde al avance de la ciencia y tecnología	X					
8	Expresado en hechos perceptibles	X					
9	Tiene secuencia lógica		X				
10	Basado en aspectos teóricos		X				
	<b>Total</b>	30	16				

Coefficiente de valoración porcentual:  $c = 46$

## OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES

- Considerar unidades de medida en la cantidad de agua perdida.



Firmado digitalmente por PEREZ  
CERNA Carlos Alfonso FAU  
20143623042 hand  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 09.01.2025 20:59:19 -05:00

.....  
**Firma y sello del Experto**

## REFERENCIA

Experto: Carlos Alfonso Pérez Cerna

Especialidad: Redes y Comunicaciones

Cargo actual: Encargado del Área de Infraestructura y Soporte de TI de la  
Municipalidad Provincial de Cajamarca.

Grado académico: Ingeniero de Sistemas

Institución: Universidad Nacional de Cajamarca

Tipo de instrumento: Ficha de observación.

Lugar y fecha: Cajamarca 09/01/2025

## TABLA DE VALORACIÓN POR EVIDENCIAS

N°	EVIDENCIAS	VALORACION					
		5	4	3	2	1	0
1	Pertinencia de indicadores		X				
2	Formulado con lenguaje apropiado		X				
3	Adecuado para los sujetos en estudio	X					
4	Facilita la prueba de hipótesis	X					
5	Suficiencia para medir la variable	X					
6	Facilita la interpretación del instrumento		X				
7	Acorde al avance de la ciencia y tecnología	X					
8	Expresado en hechos perceptibles		X				
9	Tiene secuencia lógica		X				
10	Basado en aspectos teóricos	X					
	<b>Total</b>	25	20				

Coefficiente de valoración porcentual:  $c = 45$

## OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES

- Se recomienda que los valores de T1, T2, etc. sean reemplazado por Tiempo 1, Tiempo 2, etc., debido a que en la ficha no hay una leyenda que indique a qué hace referencia T1, T2, etc.



Firmado digitalmente por PEREZ  
CERNA, Carlos Alfonso FAU  
20143823042 hard  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 09.01.2025 20:59:31 -05:00

.....  
**Firma y sello del Experto**

### FICHA PARA VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

**REFERENCIA**

Experto: Ghanier Marino Miranda Reyes  
 Especialidad: Ingeniero Industrial  
 Cargo actual: Supervisor de Proyectos  
 Grado académico: Ingeniero  
 Institución: Empresa de Telecomunicaciones  
 Tipo de instrumento: Cuestionario.  
 Lugar y fecha: Cajamarca, 04 de Enero de 2025

**TABLA DE VALORACIÓN POR EVIDENCIAS**

N°	EVIDENCIAS	VALORACION					
		5	4	3	2	1	0
1	Pertinencia de indicadores	X					
2	Formulado con lenguaje apropiado	X					
3	Adecuado para los sujetos en estudio		X				
4	Facilita la prueba de hipótesis	X					
5	Suficiencia para medir la variable	X					
6	Facilita la interpretación del instrumento	X					
7	Acorde al avance de la ciencia y tecnología	X					
8	Expresado en hechos perceptibles		X				
9	Tiene secuencia lógica	X					
10	Basado en aspectos teóricos	X					
Total		40	8				

Coeficiente de valoración porcentual:  $c = 96\%$

**OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES**

.....  
 .....  
 .....  
 .....

  
 Ghanier Marino Miranda Reyes  
 ING. INDUSTRIAL  
 R. CIP. N° 181616

Firma y sello del Experto

### FICHA PARA VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

**REFERENCIA**

Experto: Ghanier Marino Miranda Reyes  
 Especialidad: Ingeniero Industrial  
 Cargo actual: Supervisor de proyectos  
 Grado académico: Ingeniero  
 Institución: Empresa de Telecomunicaciones  
 Tipo de instrumento: Ficha de observación  
 Lugar y fecha: Cajamarca, 04 de Enero de 2025

**TABLA DE VALORACIÓN POR EVIDENCIAS**

N°	EVIDENCIAS	VALORACION					
		5	4	3	2	1	0
1	Pertinencia de indicadores	X					
2	Formulado con lenguaje apropiado	X					
3	Adecuado para los sujetos en estudio		X				
4	Facilita la prueba de hipótesis	X					
5	Suficiencia para medir la variable	X					
6	Facilita la interpretación del instrumento	X					
7	Acorde al avance de la ciencia y tecnología	X					
8	Expresado en hechos perceptibles		X				
9	Tiene secuencia lógica	X					
10	Basado en aspectos teóricos	X					
Total		40	8				

Coeficiente de valoración porcentual:  $c = \frac{40}{40} = 100\%$

**OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES**

.....  
 .....  
 .....



Ghanier Marino Miranda Reyes  
 ING. INDUSTRIAL  
 R. CIP. N° 181618  
 Firma y sello del Experto

FICHA PARA VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

REFERENCIA

Experto: Ghanier Marino Miranda Reyes  
 Especialidad: Ingeniero Industrial  
 Cargo actual: Supervisor de Proyectos  
 Grado académico: Ingeniero  
 Institución: Empresa de Telecomunicaciones  
 Tipo de instrumento: Ficha de resumen  
 Lugar y fecha: Cajamarca, 04 de Enero de 2025

TABLA DE VALORACIÓN POR EVIDENCIAS

N°	EVIDENCIAS	VALORACION					
		5	4	3	2	1	0
1	Pertinencia de indicadores	X					
2	Formulado con lenguaje apropiado	X					
3	Adecuado para los sujetos en estudio		X				
4	Facilita la prueba de hipótesis	X					
5	Suficiencia para medir la variable	X					
6	Facilita la interpretación del instrumento	X					
7	Acorde al avance de la ciencia y tecnología	X					
8	Expresado en hechos perceptibles	X					
9	Tiene secuencia lógica	X					
10	Basado en aspectos teóricos		X				
Total		40	8				

Coefficiente de valoración porcentual:  $c = 96\%$

OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES

.....  
 .....  
 .....

  
 Ghanier Marino Miranda Reyes  
 ING. INDUSTRIAL  
 R. CIP. N° 181616

Firma y sello del Experto

REFERENCIA

FICHA PARA VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

## ANEXO 7: CONFIABILIDAD DE CUESTIONARIO

<b>Estadísticas de fiabilidad</b>	
Alfa de Cronbach	N de elementos
.832	20

Fig. 77: Confiabilidad del instrumento cuestionario

<b>Estadísticas de elemento</b>			
	Media	Desv. estándar	N
Pregunta1	4.0000	.00000	3
Pregunta2	3.6667	.57735	3
Pregunta3	4.3333	.57735	3
Pregunta4	4.0000	.00000	3
Pregunta5	4.3333	.57735	3
Pregunta6	4.0000	.00000	3
Pregunta7	4.6667	.57735	3
Pregunta8	4.0000	.00000	3
Pregunta9	4.3333	.57735	3
Pregunta10	3.3333	.57735	3
Pregunta11	4.0000	.00000	3
Pregunta12	4.0000	.00000	3
Pregunta13	4.0000	.00000	3
Pregunta14	4.0000	.00000	3
Pregunta15	4.0000	.00000	3
Pregunta16	4.3333	.57735	3
Pregunta17	3.3333	.57735	3
Pregunta18	5.0000	.00000	3
Pregunta19	4.3333	.57735	3
Pregunta20	4.0000	.00000	3

Fig. 78: Estadística del total de elementos

### Estadísticas de total de elemento

	Media de escala si el elemento se ha suprimido	Varianza de escala si el elemento se ha suprimido	Correlación total de elementos corregida	Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido
Pregunta1	77.6667	14.333	.000	.835
Pregunta2	78.0000	12.000	.500	.821
Pregunta3	77.3333	10.333	.988	.783
Pregunta4	77.6667	14.333	.000	.835
Pregunta5	77.3333	10.333	.988	.783
Pregunta6	77.6667	14.333	.000	.835
Pregunta7	77.0000	19.000	-.993	.907
Pregunta8	77.6667	14.333	.000	.835
Pregunta9	77.3333	10.333	.988	.783
Pregunta10	78.3333	10.333	.988	.783
Pregunta11	77.6667	14.333	.000	.835
Pregunta12	77.6667	14.333	.000	.835
Pregunta13	77.6667	14.333	.000	.835
Pregunta14	77.6667	14.333	.000	.835
Pregunta15	77.6667	14.333	.000	.835
Pregunta16	77.3333	10.333	.988	.783
Pregunta17	78.3333	10.333	.988	.783
Pregunta18	76.6667	14.333	.000	.835
Pregunta19	77.3333	10.333	.988	.783
Pregunta20	77.6667	14.333	.000	.835

Fig. 79: Estadística del total de elementos.

## ANEXO 8: TABLA GENERAL ELECTRONIC

Tiempo del ciclo (minutos)	Observaciones a realizar
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
4.00	15
5.00 a 10.00	10
10.00 a 20.00	8
20.00 a 40.00	5
Mas de 40.00	3

## ANEXO 9: PRUEBA DE NORMALIDAD

Prueba de normalidad para la los indicadores de la dimensión tiempo.

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TiempotardaE1ResPreTest	.251	6	.200*	.869	6	.223
TiempotardaE1ResPostTest	.254	6	.200*	.866	6	.212
TiempogenerarinformePretest	.177	6	.200*	.917	6	.485
TiempogenerarinformePostTest	.312	6	.069	.783	6	.041

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

## **ANEXO 10. DAÑOS EN LA INFRAESTRUCTURA.**

Estas imágenes muestran los daños en la infraestructura en la estación 2 producto de los constantes reboses que hubo. Este tipo de condiciones perjudican no solo la infraestructura sino equipos.

