



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

TESIS

**Planta automatizada desalinizadora mediante
IoT para optimizar el tiempo de abastecimiento
de agua potable a San José – Lambayeque**

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor:

Bach. Villegas Burga, Julio Cesar

Asesor:

M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera, Jony

LAMBAYEQUE – PERÚ

2026

Fecha de sustentación: 03 de julio de 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

**Planta automatizada desalinizadora mediante IoT
para optimizar el tiempo de abastecimiento de
agua potable a San José – Lambayeque**

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor:

Bach. Villegas Burga, Julio Cesar

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE	: Dr. Ing. Ricardo Rodríguez Paredes
SECRETARIO	: M.Sc. Ing. Percy Edwar Niño Vásquez
VOCAL	: M.Sc. Ing. Héctor Antonio Oliden Núñez
ASESOR	: M.Sc. Ing. Jony Villalobos Cabrera

**LAMBAYEQUE – PERÚ
2026**



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

“Planta automatizada desalinizadora mediante IOT para optimizar el tiempo de abastecimiento de agua potable a San José – Lambayeque”

CONTENIDOS

CAPITULO I	: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.
CAPITULO II	: MARCO TEÓRICO.
CAPITULO III	: MARCO METODOLÓGICO.
CAPITULO IV	: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.
CAPITULO V	: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Bach. Villegas Burga, Julio Cesar



Dr. Ing. Ricardo Rodríguez Paredes
PRESIDENTE



M.Sc. Ing. Percy E. Niño Vásquez
SECRETARIO



M.Sc. Ing. Héctor A. Oliden Núñez
VOCAL



M.Sc. Ing. Jony Villalobos Cabrera
ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ

2026

ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACION N°0171-2026-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 10:00 a.m. del día viernes 03 de julio 2026. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°122-2026-D-FIME-UNPRG, de fecha 02 de julio 2026, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

- | | |
|--|------------|
| ▪ Dr. Ing. RICARDO RODRIGUEZ PAREDES | PRESIDENTE |
| ▪ M.Sc. Ing. PERCY EDUAR NIÑO VASQUEZ | SECRETARIO |
| ▪ M.Sc. Ing. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NÚÑEZ | MIEMBRO |
| ▪ M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA | ASESOR |

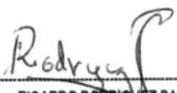
Se recibió la Tesis titulada:

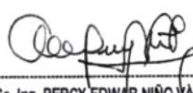
**"PLANTA AUTOMATIZADA DESALINIZADORA MEDIANTE IOT PARA
OPTIMIZAR EL TIEMPO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A SAN
JOSÉ - LAMBAYEQUE"**

Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **VILLEGAS BURGA JULIO CESAR.**

Finalizada la sustentación de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (15) en la escala vigesimal, mención REGULAR. Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 10:50 h del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:


Dr. Ing. RICARDO RODRIGUEZ PAREDES
PRESIDENTE


M.Sc. Ing. PERCY EDUAR NIÑO VASQUEZ
SECRETARIO


M.Sc. Ing. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NÚÑEZ
MIEMBRO


M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA
ASESOR

CARTA DE ORIGINALIDAD

ANEXO 01

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, **M.Sc. Ing. Jony Villalobos Cabrera**, usuario revisor del documento titulado:
**“PLANTA AUTOMATIZADA DESALINIZADORA MEDIANTE IOT PARA OPTIMIZAR EL
TIEMPO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A SAN JOSÉ –LAMBAYEQUE”**.

Cuyo autor es, **Villegas Burga Julio Cesar**, identificado con documento de identidad N°
75698058 declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado
un porcentaje de similitud de **10%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado
de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas
dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento
cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias
establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del
proceso.

Lambayeque 15 de julio del 2026



.....
M.SC. ING. JONY VILLALOBOS CABRERA

DNI: 16699530

ASESOR

Se adjunta:

*Resumen del Reporte automático de similitudes

*Recibo Digital

REPORTE DEL TURNITIN

Planta automatizada desalinizadora mediante IOT para optimizar el tiempo de abastecimiento de agua potable a San José – Lambayeque

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	9%	3%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1%
7	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
9	dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1%
10	hispagua.cedex.es Fuente de Internet	<1%
11	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1%


M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA
DNI 16699530
Docente Asociado
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

12	www.congreso.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
13	de.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
14	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %
16	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1 %
17	Mejia Zelaya, Ana Maria. "Espacios Comunitarios Recolectores de Agua Lluvia para la Vivienda Social, en el Clima Calido Lluvioso: Caso de Estudio: La Ceiba, Honduras.", Pontificia Universidad Catolica de Chile (Chile), 2020 Publicación	<1 %
18	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1 %
19	www.mef.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
20	postaportenia.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
21	www.wiseguyreports.com Fuente de Internet	<1 %
22	cienciadigital.org Fuente de Internet	<1 %
23	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	aprenderly.com Fuente de Internet	<1 %

25	cdn.shopify.com Fuente de Internet	<1 %
26	es.wikipedia.org Fuente de Internet	<1 %
27	www.biesse.com Fuente de Internet	<1 %
28	www.cosude.org.pe Fuente de Internet	<1 %
29	AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - AMBIDES S.A.C.. "EIA-SD del Proyecto Planta de Transferencia de Residuos Sólidos Inorgánicos de la Localidad de Chiclayo- IGA0003707", R.D. N° 364- 2015/DSB/DIGESA/SA, 2020 Publicación	<1 %
30	Jeffrey J. Roth, William Hughes. "Dam Maintenance and Rehabilitation II", CRC Press, 2019 Publicación	<1 %
31	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
32	es.pureaqua.com Fuente de Internet	<1 %
33	mpt.gob.es Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.espam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 15 words
Excluir bibliografía	Activo		

REGISTRO DEL TURNITIN



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Julio Cesar Villegas Burga
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Planta automatizada desalinizadora mediante IOT para optimi...
Nombre del archivo: TESIS_FINAL_LISTA_PARA_SUBIR.docx
Tamaño del archivo: 3.6M
Total páginas: 107
Total de palabras: 18,801
Total de caracteres: 103,690
Fecha de entrega: 24-jun-2026 11:29p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2989211637



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO**
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA

TESIS

**"Planta automatizada desalinizadora mediante
IOT para optimizar el tiempo de abastecimiento
de agua potable a San José – Lambayeque"**

Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autor:

Bach. Villegas Burga, Julio Cesar

Asesor:

M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera, Jony
LAMBAYEQUE – PERÚ
2026



M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA
DNI 18995039
Docente Asociado
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Derechos de autor 2026 Turnitin. Todos los derechos reservados.

DEDICATORIA

*A mi padre, por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, perseverancia y dedicación.
Cada uno de sus consejos y su apoyo incondicional han sido la fuerza que me ha
impulsado a seguir adelante y a culminar esta etapa de mi formación profesional.
Este logro es también suyo.*

Bach. Villegas Burga, Julio Cesar

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme salud y fortaleza durante todo este camino. A mi familia, por su apoyo constante y su confianza en mí. A mi asesor, el M.Sc. Ing. Jony Villalobos Cabrera, por su orientación, paciencia y valiosos aportes en el desarrollo de esta investigación. Asimismo, expreso mi gratitud a los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, por los conocimientos compartidos a lo largo de mi formación profesional.

Bach. Villegas Burga, Julio Cesar

RESUMEN

Analiza la problemática de abastecimiento de agua potable en la caleta San José, ubicada en el distrito de San José, provincia de Lambayeque, donde 30 viviendas situadas a 2.5 km al norte de la ciudad no cuentan con conexión al sistema público. Actualmente, el suministro se realiza mediante cisterna con un volumen aproximado de 12 m³/día y disponibilidad de solo 2 horas diarias, lo que resulta insuficiente frente a la demanda estimada de 18 m³/día para una población de 150 habitantes, generando un déficit de 6 m³/día y riesgos sanitarios por almacenamiento doméstico.

Propone el diseño de una planta automatizada desalinizadora por ósmosis inversa con tecnología IoT. Se determinó un caudal de producción de 2.25 m³/h, recuperación del 40% y presión de operación de 60 bar, adecuados para el tratamiento de agua de mar. La integración de sensores, PLC y monitoreo remoto permite control en tiempo real, reducción de fallas y mejora de la eficiencia operativa.

La simulación comparativa demuestra que la propuesta cubre el 100% de la demanda y garantiza continuidad casi permanente del servicio. Además, la evaluación económica confirma su viabilidad, con inversión aproximada de S/ 215,270 y rentabilidad positiva a largo plazo.

Palabras clave: Planta automatizada desalinizadora, IoT, Abastecimiento de agua potable

ABSTRACT

The cove of San José, located in the district of San José, province of Lambayeque, faces a problem with the supply of drinking water to 30 homes situated 2.5 km north of the town, which are not connected to the public water system. Currently, water is supplied by tanker truck with an approximate volume of 12 m³/day and availability for only 2 hours daily, which is insufficient to meet the estimated demand of 18 m³/day for a population of 150 inhabitants, resulting in a deficit of 6 m³/day and health risks associated with domestic water storage.

This research proposes the design of an automated reverse osmosis desalination plant using IoT technology. A production flow rate of 2.25 m³/h, a 40% recovery rate, and an operating pressure of 60 bar are calculated, suitable for seawater treatment. The integration of sensors, PLCs, and remote monitoring allows for real-time control, reduces failures, and improves operational efficiency.

The comparative simulation demonstrates that the proposal covers 100% of the demand and guarantees near-continuous service. Furthermore, the economic evaluation confirms its viability, with an approximate investment of S/ 215,270 and positive long-term profitability.

Keywords: Automated desalination plant, IoT, Drinking water supply

ÍNDICE

Contenido

ACTA DE SUSTENTACIÓN	4
CARTA DE ORIGINALIDAD	5
REPORTE DEL TURNITIN	6
REGISTRO DEL TURNITIN.....	10
DEDICATORIA	11
AGRADECIMIENTO	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
ÍNDICE.....	15
ÍNDICE DE TABLAS	17
INTRODUCCIÓN	18
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	20
1.1. Realidad Problemática	20
1.2. Formulación del Problema.....	22
1.3. Delimitación de la Investigación	22
1.4. Justificación e Importancia del estudio	24
1.5. Limitaciones de la Investigación.....	26
1.6. Objetivos de estudio	26
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	28
2.1. Antecedentes de Estudios	28
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado	39
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	51
3.1. Tipo y diseño de investigación	51
3.2. Población y muestra	52
3.3. Hipótesis	52
3.4. Variables - Operacionalización.....	52
3.5. Métodos y Técnicas de investigación.....	55
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados	55
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	56
CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS ...	58
4.1. Situación actual del abastecimiento de agua potable a las 30 viviendas de la caleta San José – Lambayeque, identificando tiempos de	

suministro, demanda y problemas operativos.	58
4.2. Condiciones técnicas del proceso de desalinización por ósmosis inversa para la producción eficiente de agua potable	59
4.3. Diseño el sistema de automatización e integración IoT para el monitoreo y control en tiempo real de la planta desalinizadora.....	61
4.4. Evaluación del impacto de la propuesta tecnológica	89
4.5. Evaluación económica de la instalación de la planta desalinizadora automatizada mediante tecnología IoT	89
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	110
5.1. Conclusiones.....	110
5.2. Recomendaciones.....	113
ANEXOS.....	117
Anexo 01: Plano de Instalaciones Eléctricas	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	53
Tabla 2: Proyección de demanda de agua potable para San José. Nota: elaboración propia	71
Tabla 3: Tabla (modelo diario).....	72
Tabla 4: Componentes de la Planta desalinizadora automatizada con IoT	78
Tabla 7: Simulación y análisis de acumulación del déficit (ANTES).....	87
Tabla 7: Resumen de impacto	88
Tabla 8: Obras civiles	89
Tabla 9: Sistema de captación y pretratamiento	89
Tabla 10: Sistema de ósmosis inversa	89
Tabla 11: Postratamiento y almacenamiento	90
Tabla 12: Automatización, control e IoT.....	90
Tabla 13: Resumen general de inversión	90
Tabla 14: Costos de operación estimados (anuales)	91
Tabla 15: Resumen de la evaluación económica.....	94

INTRODUCCIÓN

Optimizar el tiempo de abastecimiento de agua potable en viviendas rurales es fundamental por varias razones: La optimización en el tiempo y modo de distribución del agua potable contribuye a garantizar el abastecimiento oportuno que satisface las necesidades diarias de las comunidades rurales, mejorando su calidad de vida (Requena Marcelo, 2022). Un abastecimiento eficiente y continuo permite mantener buenas condiciones sanitarias, evitando riesgos derivados de la falta o retraso en la llegada del agua potable, reduciendo la propagación de enfermedades (Barboza Bardales & Rivera Montalvan, 2019). La gestión adecuada del tiempo de abastecimiento contribuye a evitar el éxodo rural hacia zonas urbanas por la carencia del servicio, garantiza la seguridad del consumo humano y puede generar ahorros significativos en costos operativos y energía, lo cual favorece la sostenibilidad del sistema y la economía local (Castillo Vergara & Homero Cortes, 2014).

En el primer capítulo de este documento, se realiza una exhaustiva y minuciosa discusión sobre el problema que es imprescindible abordar, el cual, en esta situación particular, consiste en la necesidad de diseñar una Planta automatizada desalinizadora mediante IoT para optimizar el tiempo de abastecimiento de agua potable a San José – Lambayeque. A raíz de este proceso, se realiza la formulación del objetivo general, además de la elaboración de una serie de objetivos específicos que funcionarán como una guía fundamental para alcanzar dicho objetivo de manera efectiva y exitosa.

En el segundo capítulo de este análisis exhaustivo, se presentan de manera

detallada los antecedentes que incluyen una variedad de investigaciones realizadas previamente respecto al tema abordado. Estos antecedentes no solo ofrecen un contexto valioso, sino que también sirven como un fuerte respaldo que justifica la propuesta de solución que se plantea en esta tesis. De manera similar, se presenta de una forma exhaustiva y minuciosa la teoría que está relacionada con el tema principal que se está investigando en este estudio en particular.

El tercer capítulo ofrece una exposición exhaustiva y minuciosa acerca de los diferentes procedimientos y pasos que se seguirán para la recolección y administración efectiva de la información. Además, incluye una descripción completa de las múltiples herramientas y recursos que se utilizarán para llevar a cabo esta importante actividad.

En el cuarto capítulo de este informe, se presenta de manera exhaustiva una explicación meticulosa de los resultados que se han conseguido hasta la fecha, incluyendo una cuidadosa elección y una minuciosa selección de los diversos equipos que son imprescindibles para llevar a cabo el proyecto de manera efectiva. Asimismo, se incorpora a este estudio un análisis detallado de los gastos relacionados con el sistema que se ha diseñado y aprobado, así como una evaluación minuciosa de los indicadores financieros relevantes que facilitan la medición precisa del rendimiento económico de dicho sistema.

En el quinto capítulo de este documento, se exponen de forma exhaustiva tanto los resultados finales como las recomendaciones relevantes que se derivan de ellos.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

La problemática del tiempo de abastecimiento de agua potable en pueblos rurales a nivel mundial se caracteriza por varios desafíos recurrentes: Muchas comunidades rurales reciben agua de manera variable y con baja presión, lo que limita el acceso y dificulta las actividades cotidianas. Hay zonas donde el abastecimiento es irregular, por ejemplo, con agua disponible solo algunas horas al día o cada varios días, lo que genera problemas de continuidad y acceso insuficiente (Casas Coronado, 2023). La falta de mantenimiento, tuberías viejas, fugas y redes en mal estado afectan la eficiencia del sistema, provocando pérdida de agua y reduciendo la cantidad disponible para la población. Esto repercute en la calidad de vida y la salud de las comunidades, incrementando riesgos de enfermedades por la baja calidad del agua y contaminación (Tacca Mendoza, 2023). Existen disparidades significativas entre zonas urbanas y rurales, así como dentro de las mismas comunidades rurales, donde ciertos sectores tienen acceso limitado o nulo a agua potable, afectando especialmente a comunidades marginadas y zonas periféricas (Jaramillo Mejía, Manjarrez Fuentes, & Ramírez Chávez, 2024).

La problemática del tiempo de abastecimiento de agua potable en pueblos rurales del Perú, se manifiesta principalmente en los siguientes aspectos: Muchas comunidades rurales reciben agua solo durante ciertos horarios o en días específicos, lo que genera estrés hídrico y dificulta las actividades diarias de la población. Esta situación responde a limitaciones técnicas y a una gestión deficiente del servicio (Pacheco Aristes, 2024). La mayoría de las redes de

abastecimiento son antiguas, con falta de mantenimiento, pérdidas por fugas y tecnologías de captación o distribución inadecuadas, lo que limita la calidad y cantidad de agua entregada. Por ejemplo, estudios en comunidades como Sogay (Arequipa) evidencian sistemas obsoletos con insuficiente capacidad y calidad (Requena Marcelo, 2022). En algunas zonas, debido a la falta de sistemas de alcantarillado y tratamiento adecuados, las fuentes de agua se ven afectadas por contaminación, lo que representa un riesgo para la salud de los pobladores (Postigo Ramos, 2017).

La caleta de San José se ubica en el distrito de San José, en la costa norte del territorio peruano, caracterizado por su mar, cabe mencionar que pertenece a la provincia de Lambayeque, ubicándose como uno de sus 12 distritos. Por otro lado, la situación de la caleta San José actualmente el servicio de agua potable es insuficiente y escaso para cubrir la demanda. Actualmente la ciudad de San José cuenta con 3805 viviendas de ellas 3775 viviendas cuentan con el servicio de agua potable, pero hay 30 viviendas ubicadas a 2.5 km al norte de la ciudad que no cuentan con el servicio de agua potable. Para abastecerse de este líquido elemento recurren a la ciudad para comprar agua y llevarlo en cisternas, almacenando para su posterior uso,

Los factores que contribuyen a que estas 30 viviendas no dispongan oportunamente de agua potable, se debe a que la empresa EPSEL indica que no hay disponibilidad de recurso hídrico, además éstas se ubican lejos del centro de la ciudad, a unos 2.5 km.

De no solucionar el oportuno de suministro de agua potable a estas 30 viviendas, originaría que los problemas de salud se incrementen en esta parte de la ciudad, además las enfermedades a la piel se verán incrementadas.

1.2. Formulación del Problema

La caleta San José, ubicada en el distrito de San José, provincia de Lambayeque, enfrenta un abastecimiento de agua potable limitado e intermitente, con una disponibilidad promedio de solo 2 horas al día y un suministro de 12 m³/día mediante cisternas, frente a una demanda real estimada de 18 m³/día para sus 30 viviendas. Esta situación genera un déficit hídrico del 33.3%, prolonga los tiempos de abastecimiento y evidencia la ausencia de un sistema técnico que garantice continuidad y control del suministro. Ante esta problemática, y considerando la disponibilidad de agua de mar como fuente alternativa en la zona costera, surge la siguiente interrogante de investigación:

¿De qué manera el diseño de una planta desalinizadora automatizada mediante tecnología IoT permitirá optimizar el tiempo de abastecimiento de agua potable en las 30 viviendas de la caleta San José, distrito de San José, provincia de Lambayeque?

1.3. Delimitación de la Investigación

1.3.1. Delimitación espacial

La investigación se desarrollará en el centro poblado de **San José**, distrito de San José, provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque – Perú, considerando las condiciones reales del sistema de abastecimiento de agua potable y la disponibilidad de fuentes de agua salobre o marina en la zona

costera.

1.3.2. Delimitación temporal

El estudio comprenderá el periodo de análisis, diseño y evaluación del sistema durante los años **2024 – 2025**, considerando información operativa actual del abastecimiento de agua y proyecciones de demanda.

1.3.3. Delimitación temática

La investigación se centrará en:

- Diseño y propuesta de una planta desalinizadora automatizada.
- Integración de tecnología IoT para monitoreo y control del sistema.
- Evaluación del impacto en el **tiempo de abastecimiento de agua potable**.

No se abordarán:

- Estudios hidrogeológicos profundos de nuevas fuentes de agua.
- Diseño estructural detallado de obras civiles.
- Evaluación socioeconómica integral del servicio de agua a nivel regional.

1.3.4. Delimitación metodológica

El estudio será de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental – propositivo, basado en:

- Levantamiento de información del sistema actual.
- Modelamiento y simulación operativa de la planta desalinizadora.
- Comparación del tiempo de abastecimiento antes y después de la propuesta.

No se contempla la construcción física de la planta, sino la validación técnica mediante análisis ingenieril y simulación.

1.3.5. Delimitación poblacional

La investigación considera como unidad de análisis el sistema de abastecimiento de agua potable del centro poblado de San José y su población usuaria directa, en función de su demanda hídrica y condiciones de suministro actuales.

1.3.6. Delimitación tecnológica

El estudio se restringe al uso de:

- Tecnología de desalinización por ósmosis inversa.
- Sensores industriales para monitoreo de variables hidráulicas.
- Plataforma IoT para supervisión remota y control del proceso.

No se evaluarán otras tecnologías de desalinización térmica ni sistemas híbridos energéticos complejos.

.

1.4. Justificación e Importancia del estudio

1.4.1. Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad de mejorar el abastecimiento de agua potable en el centro poblado de San José – Lambayeque, donde el suministro es limitado, intermitente y dependiente de fuentes convencionales que no garantizan continuidad ni calidad del servicio. Esta problemática genera impactos en la salud pública, las condiciones sanitarias y el desarrollo social de la población.

Desde el punto de vista técnico, la desalinización mediante ósmosis inversa representa una alternativa viable en zonas costeras con disponibilidad de agua de mar o salobre; sin embargo, su operación tradicional presenta limitaciones relacionadas con control manual, tiempos operativos prolongados y baja eficiencia. La incorporación de tecnologías de automatización e Internet

de las Cosas (IoT) permite monitorear variables en tiempo real, optimizar la operación del sistema y reducir los tiempos de abastecimiento, mejorando la eficiencia del proceso.

En el ámbito académico, el estudio aporta un modelo aplicado que integra ingeniería hidráulica, automatización industrial y telecomunicaciones, contribuyendo al desarrollo de soluciones tecnológicas para la gestión inteligente del recurso hídrico en contextos locales.,

1.4.2. Importancia

La investigación es importante porque propone una solución tecnológica sostenible orientada a garantizar la disponibilidad y continuidad del agua potable en comunidades con limitaciones hídricas, impactando directamente en la calidad de vida de la población.

Su relevancia se manifiesta en los siguientes aspectos:

- **Social:** mejora el acceso al agua potable y reduce riesgos sanitarios.
- **Tecnológico:** promueve la aplicación de IoT y automatización en sistemas de tratamiento de agua.
- **Ambiental:** aprovecha recursos hídricos disponibles sin sobreexplotar fuentes continentales.
- **Económico:** optimiza costos operativos mediante control inteligente y eficiencia energética.
- **Académico:** genera un referente técnico para futuras investigaciones sobre plantas desalinizadoras inteligentes en el Perú.

En conjunto, el estudio contribuye a la modernización de los sistemas de abastecimiento de agua potable en zonas costeras, demostrando que la integración de desalinización y tecnologías IoT puede reducir el tiempo de

suministro y mejorar la gestión del recurso hídrico de manera sostenible.

1.5. Limitaciones de la Investigación

La investigación presenta limitaciones relacionadas con su alcance técnico y metodológico, ya que la propuesta de la planta desalinizadora automatizada con IoT se valida mediante modelamiento y simulación sin contemplar su construcción ni operación real, por lo que los resultados dependen de datos disponibles del sistema de abastecimiento y de parámetros teóricos. Asimismo, existe restricción en la disponibilidad y actualización de información sobre demanda de agua y tiempos de suministro, y no se desarrolla un análisis económico-financiero detallado a largo plazo, considerándose costos referenciales. El estudio se limita al uso de desalinización por ósmosis inversa y a condiciones de conectividad tecnológica locales, cuyos resultados son aplicables principalmente al centro poblado de San José – Lambayeque y no generalizables a otras zonas con características distintas; además, al ser una investigación aplicada y no experimental, la evaluación del impacto en el tiempo de abastecimiento se realiza de forma comparativa y teórica, sin intervención directa en campo ni consideración profunda de factores institucionales o normativos que podrían influir en su implementación real.

1.6. Objetivos de estudio

1.6.1. Objetivo General

Diseñar una planta desalinizadora automatizada mediante tecnología IoT para optimizar el tiempo de abastecimiento de agua potable en el centro poblado de San José – Lambayeque.

1.6.2. Objetivo Específicos

- Analizar la situación actual del abastecimiento de agua potable a las 30 viviendas de la caleta San José – Lambayeque, identificando tiempos de suministro, demanda y problemas operativos
- Determinar las condiciones técnicas del proceso de desalinización por ósmosis inversa para la producción eficiente de agua potable
- Diseñar el sistema de automatización e integración IoT para el monitoreo y control en tiempo real de la planta desalinizadora
- Evaluar el impacto de la propuesta tecnológica en la reducción del tiempo de abastecimiento de agua potable mediante simulación y análisis comparativo.
- Realizar la evaluación económica de la instalación de la planta desalinizadora automatizada mediante tecnología IoT

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

2.1.1. A nivel Internacional

A nivel internacional

En Ecuador, Aguay Noguera & Ilaquiche Cuyo, (2023) en su trabajo de investigación denominado “Aplicaciones tecnológicas de la purificadora de agua por ósmosis inversa para plantas en transformación agroindustrial”, El trabajo de titulación titulado "Aplicaciones Tecnológicas de la purificadora de agua por ósmosis inversa en procesos de transformación agroindustrial" tiene como objetivo principal investigar y comprender en profundidad el funcionamiento de la tecnología de ósmosis inversa. Esta exploración busca optimizar los procesos de purificación de agua, lo que a su vez garantizará un suministro constante de agua de alta calidad, esencial para las múltiples aplicaciones que se llevan a cabo en la planta agroindustrial. Además, al desarrollar una aplicación que facilite y maximice el proceso de purificación, se abren nuevas oportunidades que no solo mejoran la eficiencia y la accesibilidad de los recursos hídricos, sino que también promueven la sostenibilidad en la gestión del agua dentro de los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Cabe destacar que el agua es un recurso crucial en los procesos productivos agroindustriales y, en numerosas ocasiones, actúa como un componente vital en los productos finales elaborados. En el desarrollo del proyecto actual, se llevó a cabo un exhaustivo trabajo de investigación bibliográfica que sirvió como base fundamental para la creación de los manuales correspondientes tanto al funcionamiento como al mantenimiento. Por otro lado, se utilizó un enfoque de investigación

descriptiva con el propósito de ofrecer una descripción minuciosa de las partes esenciales, así como de las características y requisitos indispensables que aseguran un funcionamiento adecuado y eficiente. Asimismo, es esencial realizar un mantenimiento preventivo con el propósito de anticipar y evitar eventuales daños que puedan afectar tanto los sistemas internos como externos de la organización (ÓI), los cuales podrían resultar en un bajo rendimiento general. Esto también contribuye a minimizar la necesidad de un mantenimiento correctivo. Para lograrlo, se debe llevar a cabo una evaluación exhaustiva de los componentes que ya han alcanzado el final de su vida útil, asegurándose de reemplazarlos de manera eficiente y efectiva. Los resultados que se lograron respecto al valor total de sólidos disueltos en el caso específico del agua que había sido pretratada, arrojan un total de 525 partes por millón (ppm) a una temperatura de 21.3 grados Celsius. En contraste, para el agua que fue purificada, se registró un valor significativamente más bajo de 13 ppm, también a la misma temperatura de 21.3 grados Celsius. Al comparar estos datos obtenidos con la normativa establecida, se puede concluir que cumplen con los requisitos establecidos por la norma INEN 2200, que regula la calidad del agua purificada. En conclusión, resulta fundamental llevar a cabo el reemplazo de los componentes internos que conforman el sistema de Ósmosis Inversa (ÓI), con el propósito de optimizar y elevar la calidad del agua que se obtiene a través de este proceso. Asimismo, es de suma importancia realizar un proceso de purga que permita deshacerse de cualquier tipo de acumulación de sustancias indeseables, así como asegurar que el agua se mantenga en las mejores condiciones posibles y cumpla con los estándares de calidad

adecuados. (Aguay Noguera & Ilaquiche Cuyo, 2023)

En Ecuador, Acuña Merchán & Rivas Cáceres, (2021), en el trabajo de investigación: “Diseño de un Sistema de Ósmosis Inversa para una Planta Desalinizadora de Agua de Mar en la Parroquia Manglaralto”, La técnica más destacada y utilizada para conseguir agua en la parroquia de Manglaralto se centra en la explotación de acuíferos subterráneos. Sin embargo, esta estrategia presenta importantes limitaciones y no puede considerarse sostenible a largo plazo, debido a varios factores críticos, como la escasez de precipitaciones en la región, la intrusión de agua salina en las capas freáticas, y el aumento continuo de la demanda de agua que se origina tanto del crecimiento poblacional de las comunidades locales como de la afluencia de personas temporales. Ante estas circunstancias, se hace necesario explorar soluciones innovadoras, lo que lleva a proponer una nueva visión para la obtención de agua potable. Esta nueva perspectiva incluye el diseño e implementación de un Sistema de Ósmosis Inversa (SOI), así como el desarrollo de un plan de seguridad integral que garantice la efectividad y sostenibilidad de este sistema. Se llevó a cabo un exhaustivo análisis de la calidad del agua proveniente de la fuente, así como una aproximación detallada del caudal necesario para garantizar el suministro adecuado a la parroquia. Con base en los resultados obtenidos de este análisis, se procede a realizar el diseño del Sistema de Ósmosis Inversa (SOI) utilizando el software Integrated Membrane Solutions (IMS) Design. En este proceso de diseño, se calculó que el consumo óptimo de agua por habitante es de 340.2 metros cúbicos por hora (m^3/h). A partir de esta cifra, se estimó un caudal de

alimentación total de 756 m³/ h. Es importante destacar que el 45% de este caudal será procesado a través de membranas del tipo SWC5 MAX. El arreglo final consistirá en un total de 103 tubos, con 6 membranas instaladas en cada uno de ellos. En cuanto a los costos, se estimó que el precio de producción del agua será de aproximadamente 1.80 dólares estadounidenses por metro cúbico (USD/m³). Además, la calidad del agua producida cumple con los límites máximos permitidos establecidos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Se propone, además, gestionar el subproducto del proceso, que es la salmuera, de manera que su uso pueda ser directo o indirecto, lo cual se considera como la mejor alternativa para su manejo, ya que esto contribuiría a evitar la descarga directa de este subproducto al mar. (Acuña Merchán & Rivas Cáceres, 2021)

En Ecuador, Garcés Vallejo, (2023), en su trabajo de investigación denominado “Diseño y construcción de un dispositivo IoT, autosustentable para la medición de consumo de agua potable mediante una interfaz web”, El trabajo que se presenta en este documento, el cual forma parte de una integración curricular, se centra en el proceso de diseño y desarrollo de un dispositivo de Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) que es capaz de autoabastecerse de energía. Este dispositivo tiene como objetivo principal la medición precisa del consumo de agua potable y cuenta con una interfaz interactiva accesible a través de la web para facilitar su uso y gestión. Para llevar a cabo la creación del prototipo, se han empleado una variedad de metodologías de investigación con el fin de comprender a fondo la problemática relacionada con el proceso de desarrollo del trabajo de

titulación. Esto incluyó la aplicación de enfoques de análisis y síntesis, y, como paso final, se utilizó una metodología cuantitativa para evaluar los resultados obtenidos de varias pruebas que se realizaron sobre el dispositivo en cuestión. Antes de proceder con la construcción del dispositivo, es fundamental llevar a cabo un análisis exhaustivo y detallado de diversos componentes electrónicos. Este análisis tiene como objetivo seleccionar los hardwares y softwares que satisfagan de manera óptima los requerimientos específicos del sistema que se está desarrollando. Además, se toma en cuenta la accesibilidad y disponibilidad de estos elementos en el mercado, lo que permite garantizar que sean fáciles de adquirir. Posteriormente, se inicia el proceso de ensamblaje de cada uno de los componentes seleccionados, asegurando que todo encaje de forma adecuada para el correcto funcionamiento del dispositivo. Después de haber completado el desarrollo del sistema, el dispositivo de Internet de las Cosas (IoT) fue sometido a una serie de pruebas y evaluaciones, las cuales tuvieron como objetivo principal garantizar y validar la precisión en la lectura de datos, asegurándose de que cumpliera con los parámetros recomendados establecidos por la EP-EMAPAR. Asimismo, se llevó a cabo una evaluación minuciosa del tiempo que tarda en responder el control de apertura y cierre de dicho servicio. Esto fue realizado con el propósito de analizar la efectividad de la comunicación con la plataforma de Internet de las Cosas (IoT), permitiendo así que los valores de consumo de agua potable puedan ser visualizados en tiempo real. Este seguimiento incluye la consideración de diversos parámetros que abarcan períodos diarios, semanales y mensuales para obtener un panorama más completo. Finalmente, se llevaron a cabo diferentes pruebas que evalúan

la autonomía de las baterías que se utilizan en el sistema fotovoltaico, destacando los valores más representativos que se derivan de estas pruebas, así como las recomendaciones más relevantes que se deben tener en cuenta. En conclusión, se puede afirmar que la adopción y el uso del dispositivo de Internet de las Cosas (IoT) que ha sido desarrollado y presentado a lo largo de este trabajo de titulación traerá consigo importantes beneficios para la supervisión continua y sistemática del servicio en cuestión. Además, este dispositivo ofrecerá la posibilidad de establecer alertas respecto al consumo, especialmente cuando se detecten indicios de irregularidades o anomalías en la utilización del servicio. Por lo tanto, se puede considerar que esta herramienta, en base a las recomendaciones y conclusiones expuestas, será de gran utilidad para llevar a cabo un monitoreo eficaz y proactivo. (Garcés Vallejo, 2023)

2.1.2. A nivel nacional

En Trujillo, Díaz Ramos & Rojas Gutiérrez, (2021), en su trabajo de investigación “Diseño de planta de tratamiento para la potabilización de agua de mar del balneario de Huanchaco – Trujillo”, La investigación que se presenta a continuación fue llevada a cabo en el balneario de Huanchaco, un popular destino turístico ubicado en la provincia de Trujillo, que forma parte del departamento de La Libertad, en Perú. Se llevó a cabo un cuidadoso proceso de elaboración del diseño de una instalación destinada al tratamiento que tiene como objetivo la potabilización del agua proveniente del mar. La investigación que se llevó a cabo se clasifica como no experimental y de carácter descriptivo. En este estudio, se empleó la técnica de análisis

documental como método principal para la recolección de datos relevantes. La población considerada abarca la totalidad del balneario de Huanchaco, y para la selección de la muestra se utilizó un enfoque de muestreo no probabilístico, basado en el juicio y la experiencia de expertos en el tema. En la actualidad, uno de los principales problemas que enfrenta la comunidad de Huanchaco es la carencia de agua potable, que afecta a diversos sectores de este distrito. Debido a esta situación preocupante, se están explorando alternativas para aprovechar el agua del mar, con el objetivo de purificarla y transformarla en agua potable, de manera que se pueda satisfacer adecuadamente la demanda y las necesidades básicas de los residentes locales. En el proceso de diseño de la planta dedicada al tratamiento de aguas, se incorporó un sistema de ósmosis inversa que se complementa con un pretratamiento. Este pretratamiento está compuesto por un total de diez filtros del modelo FIC-300 y otros diez filtros del modelo FIT-300. Además, se incluyeron siete cartuchos de la serie 801-5 de la marca Harmsco, específicos para la eliminación de sólidos de menor tamaño, lo cual asegura una mayor eficacia en el tratamiento del agua. En el área destinada para el tratamiento, se disponía de un total de 90 membranas del modelo SW30HRLE 440i, las cuales fueron utilizadas para llevar a cabo el proceso de purificación. Se consiguió llevar a cabo el diseño de la planta de tratamiento de aguas, que cuenta con un caudal impresionante de 121.42 litros por segundo. Este sistema ha sido concebido para tener una vida útil estimada de 20 años. Además, se ha determinado que el agua tratada contendrá una concentración de sólidos suspendidos totales de 46.95 miligramos por litro. (Díaz Ramos & Rojas Gutiérrez, 2021).

2.1.3. A nivel local

En Chiclayo, García Perla, (2021), en su trabajo de investigación “Propuesta de aprovechamiento de agua del mar para incrementar nivel de servicio de agua potable en ciudades del litoral lambayecano”, El análisis que se detalla en este documento indica la necesidad y conveniencia de poner en marcha una planta que se dedicará a la desalinización del agua del mar. Esta iniciativa tiene como propósito primordial el de mejorar de manera notable tanto el suministro como la calidad del servicio de agua potable para las comunidades que se encuentran a lo largo de la costa de la región de Lambayeque. El estudio de mercado que se realizó implicó un análisis exhaustivo y detallado que se centró en investigar el comportamiento y las dinámicas tanto de la demanda como de la oferta en este sector específico. Como resultado de esta minuciosa evaluación, se llegó a la importante conclusión de que hay una cantidad considerable de demanda que permanece insatisfecha, la cual equivale a un total significativo de 4,925,474 metros cúbicos. Con base en los descubrimientos realizados, se determinó que el proyecto en cuestión tiene la intención de atraer y satisfacer el 90% de la demanda que, hasta ahora, ha permanecido insatisfecha. Esto, a su vez, respalda de manera contundente la noción de que el proyecto presenta una viabilidad comercial robusta y factible, lo que indica que es muy probable que se lleve a cabo con éxito. De la misma forma, se realizó un minucioso y detallado estudio de localización que tuvo como objetivo fundamental identificar la ubicación más idónea y conveniente para la instalación de la planta. Este exhaustivo análisis fue llevado a cabo mediante la utilización de una matriz de factores ponderados que permitió

evaluar una variedad de criterios relevantes. Como resultado de esta evaluación, la ubicación que fue finalmente seleccionada se encuentra situada entre los distritos de Pimentel y Santa Rosa. Asimismo, se llevó a cabo un minucioso y exhaustivo análisis en el campo de la ingeniería, el cual tuvo como principal objetivo examinar de manera detallada la viabilidad tecnológica del proyecto en cuestión. Este estudio exhaustivo fue llevado a cabo mediante una descripción minuciosa del proceso de producción que se encuentra involucrado, además de incluir todos los requisitos necesarios en aspectos como la materia prima, la maquinaria adecuada y la mano de obra especializada que se necesita para asegurar que la producción de agua potable sea eficiente. Como resultado de este análisis, se ha alcanzado una capacidad estimada impresionante de 17,049.7 metros cúbicos por día, lo que indica un funcionamiento óptimo del sistema. La creación y el desarrollo del diseño de la planta se realizó mediante la implementación de dos enfoques metodológicos que son diferentes entre sí. Por un lado, se utilizó la metodología reconocida como Guerchet, que ofrece un conjunto específico de pautas y técnicas. Por otro lado, se aplicó el enfoque denominado Systematic Layout Planning, el cual es conocido por su estructura sistemática y su capacidad para organizar eficientemente los espacios de trabajo. Finalmente, después de haber realizado un análisis detallado y minucioso de la viabilidad económica y financiera asociada a este proyecto en particular, se fue capaz de establecer un Valor Actual Neto (VAN) que asciende a la cifra de S/ 4 505 045,24, lo cual indica su potencial rentabilidad. Adicionalmente, se llevó a cabo el cálculo de una tasa interna de retorno que ha resultado ser del 23%. Este porcentaje no solo es considerablemente alto, sino que también excede

de manera significativa la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) a nivel global, la cual está establecida en un 16%. Los resultados obtenidos nos llevan a la conclusión de que el proyecto puede ser considerado como una opción viable y con un gran potencial en términos financieros. Además de lo mencionado anteriormente, se consigue un aumento significativo del 29% en las ganancias generadas por cada sol que se destina a la inversión. Este proceso de incremento financiero tiene un plazo estimado para la recuperación total de la inversión que es de alrededor de tres años y cuatro meses. (Garcia Perla, 2021)

En Chiclayo, Guarniz Serrato, (2021), en su investigación realizada “Propuesta de instalación de una planta desalinizadora para abastecer de agua potable la nueva zona industrial proyectada en Puerto Eten” El trabajo de investigación que se presenta a continuación se centra en realizar un análisis exhaustivo acerca de un parque industrial que está en fase de planificación y que tiene como ubicación el distrito de Puerto Eten. Este parque se encuentra en una situación complicada y desafiante, dado que en la actualidad no dispone de un suministro de agua que sea suficiente y adecuado, lo cual es esencial para garantizar el correcto desarrollo y funcionamiento de sus diversas operaciones. Es fundamental señalar que en la ubicación geográfica mencionada no se encuentra ninguna organización o entidad que ofrezca este recurso hídrico vital para la comunidad. Debido a esta circunstancia particular, el propósito principal que se establece para este estudio es la sugerencia de la instalación de una planta dedicada a la desalinización del agua. Esta propuesta tiene como objetivo asegurar un

suministro confiable de agua potable que pueda satisfacer de manera adecuada y eficiente las necesidades específicas del proyecto industrial que se está evaluando. Con la meta de identificar y establecer de manera precisa la demanda que actualmente existe en el mercado, se realizó un análisis exhaustivo y detallado del consumo promedio mensual que está relacionado con las principales actividades económicas que se llevan a cabo en el país. Este estudio busca ofrecer una comprensión clara de cómo se distribuye el consumo a lo largo del tiempo respecto a dichas actividades. A partir de los hallazgos obtenidos en este exhaustivo estudio, se logró establecer de manera clara y precisa la cantidad de lotes que sería viable y factible desarrollar dentro del parque industrial en cuestión. Los hallazgos obtenidos a partir de este exhaustivo análisis indican que, una vez que el parque ambiental esté funcionando de manera óptima y haya alcanzado el 100% de su capacidad operativa, se podrá lograr un nivel de consumo que se estima en alrededor de 14,600 metros cúbicos cada día. De igual manera, se realizó una evaluación detallada y minuciosa de una variedad de métodos destinados a la desalinización del agua, y al considerar todas las opciones disponibles, el proceso de ósmosis inversa se destacó como el más apropiado y beneficioso para satisfacer nuestras necesidades específicas en este ámbito. La habilidad de diseño de la planta, que se fijó en un notable y considerable total de 16,060 metros cúbicos diarios, resultó ser un elemento crucial y decisivo en el proceso de elección de los equipos necesarios; por esta razón, se tomó la decisión de seleccionar específicamente aquellos equipos que pudieran funcionar de manera eficiente y que, al mismo tiempo, fueran capaces de satisfacer y cumplir con las exigencias de dicha capacidad de producción

establecida. Finalmente, se realizó un cuidadoso y detallado análisis financiero que fue llevado a cabo con precisión y atención minuciosa a todos los aspectos relevantes. Este exhaustivo proceso de evaluación permitió alcanzar resultados muy significativos y reveladores, que incluyeron una Tasa Interna de Retorno (TIR) notable del 30%, así como un Valor Actual Neto (VAN) que ascendió a la considerable suma de S/8,025,423.81. De manera adicional, se ha alcanzado un beneficio que se eleva hasta un notable 22%, lo que representa un claro indicador favorable para la inversión que ha sido llevada a cabo. De igual manera, se estima que el periodo requerido para recuperar la inversión realizada en este proyecto se aproxima a un total de tres años y diez meses. (Guarniz Serrato, 2021)

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

Desalinización

El proceso conocido como desalinización o desalación se refiere a la técnica utilizada para disminuir la cantidad de sal que se encuentra en el agua del mar, así como también a eliminar los sólidos disueltos que podrían estar presentes en ella. La cantidad de sales que se puede encontrar en los diferentes océanos y mares que rodean nuestro planeta varía considerablemente, situándose generalmente entre un rango que va desde 25,000 hasta 45,000 partes por millón (ppm). Sin embargo, gracias a un proceso específico, es posible disminuir esta concentración a niveles que caen por debajo de 1,000 ppm. Lograr que el proceso de desalación del agua de mar sea una realidad efectiva se considera una de las alternativas más

significativas y prometedoras para abordar el futuro problema del desabastecimiento de agua, el cual es causado por la escasez de recursos hídricos y el despilfarro que se presenta en muchas regiones. A través de la realización de este proceso específico, se logra como resultado la obtención de agua que es dulce, así como también se genera agua que puede ser utilizada para fines de regadío.

Este proceso se ha sido estudiado con mayor profundidad en los últimos años, pues tiene diversas formas de brindar el producto final, porque existen varios métodos. Los más estudiados son el de ósmosis inversa y el de destilación multietapa, uno funciona con membranas para la separación de la sal con el agua mientras que el otro, usa la evaporación y condensación como pilares principales. También existe otros, como electrodiálisis, que es un sistema híbrido de corriente y membranas o destilación solar, que usa la energía del sol para su funcionamiento . (González Jiménez, 2019)

Agua Potable

El agua que podemos considerar potable, apta para el consumo humano, se origina de manera natural a partir de diversos fuentes como sedimentos que se encuentran en los glaciares o hielo polar, así como de ríos, arroyos y acuíferos subterráneos. En la mayoría de los casos, este agua no necesita un tratamiento complejo, sino que simplemente requiere un proceso de desinfección. Este proceso puede llevarse a cabo utilizando cloro, ozono, exposición a luz ultravioleta, entre otros métodos efectivos que tienen como objetivo eliminar cualquier tipo de microorganismo que pudiera estar presente y que podría representar un riesgo para la salud. De manera similar, el agua

que se considera potable o adecuada para el consumo humano es aquella que puede ser ingerida sin generar preocupaciones o riesgos para la salud. Esto se debe a que ha sido sometida a un riguroso proceso de tratamiento que la convierte en segura para su consumo, eliminando cualquier contaminante que pudiera representar un peligro para quienes la consumen. Las entidades responsables de la salud pública, junto con la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) y las municipalidades locales, están llevando a cabo una exhaustiva supervisión para asegurar que se respeten y cumplan todas las normas y leyes relacionadas con el sistema de abastecimiento de agua destinado al consumo humano. Este proceso de vigilancia se realiza dentro del ámbito de sus respectivas competencias establecidas por la legislación vigente en sus jurisdicciones. (Arteaga, 2023)

Distribución y técnicas para el diseño de planta

De acuerdo con la interpretación de Muther, el término se refiere a la disposición y organización física de los diversos elementos que componen el ámbito industrial. Este conjunto de disposiciones, ya sea que se haya llevado a cabo o esté aún en fase de planificación, contempla la inclusión del espacio requerido para garantizar el adecuado desplazamiento de materiales, el almacenamiento eficiente, la colaboración de los empleados, la disposición de equipos, el tránsito de visitantes y la realización de todas las diferentes actividades o servicios que se llevan a cabo en el interior de la empresa. Contar con una distribución de planta que sea óptima y eficiente conlleva una serie de beneficios significativos. Entre las ventajas más

destacadas se encuentran la reducción del riesgo para la salud de los empleados, lo que a su vez contribuye a un aumento en la seguridad de los trabajadores. Además, se logra un incremento en la producción general de la planta, lo que permite un mejor rendimiento. También se observan beneficios en la disminución de los retrasos en los procesos de producción, así como un ahorro considerable en el área que se ocupa. La optimización de la distribución lleva a una reducción en el manejo de materiales, lo que resulta en una mayor utilización de los recursos disponibles. En resumen, una adecuada distribución de la planta no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también crea un ambiente de trabajo más seguro y saludable. En el ámbito de la maquinaria, se busca una disminución en la cantidad de material que se encuentra en proceso, así como una notable reducción en el tiempo necesario para llevar a cabo el proceso de fabricación. También se pretende reducir el trabajo administrativo y, en general, el trabajo indirecto relacionado con estas operaciones. Otro objetivo importante es alcanzar una supervisión que sea no solo más sencilla, sino también más eficiente y efectiva. Asimismo, se aspira a una disminución en la congestión y la confusión que podrían surgir durante el proceso. Además, se busca disminuir el riesgo relacionado tanto con el material utilizado como con su calidad. Todo esto, a su vez, contribuirá a una mayor capacidad de adaptación frente a posibles cambios en las condiciones del entorno. (Guarniz Serrato, 2021)

Desalinización de agua de mar

La técnica de desalinización del agua del mar ha estado presente en la industria durante varios años, lo que ha permitido que, a lo largo del tiempo,

se haya mejorado y refinado. El propósito de estas mejoras es el de lograr procesos que sean cada vez más eficientes y efectivos en la obtención de agua potable a partir del agua salada. El enfoque que se creó en un principio para llevar a cabo este proceso fue el de la destilación. Este método implica calentar el agua hasta alcanzar su temperatura de ebullición, lo que permite efectivamente separar la sal del agua, logrando así obtener agua desalinizada. La primera sustancia se mantiene en un estado sólido, lo que significa que tiene una forma definida y un volumen constante, mientras que la segunda sustancia se encuentra en un estado gaseoso, lo que implica que no tiene una forma fija y ocupa todo el espacio disponible a su alrededor. Después de un tiempo, el vapor de agua tiene que someterse a un proceso de condensación que es esencial para poder obtener así el agua dulce. Sin embargo, hay una considerable cantidad de casos que desestiman o ignoran la utilización de este método particular, ya que implica la necesidad de gastar una cantidad significativa de dinero en combustible para llevar a cabo el proceso de evaporación del agua. No obstante, debido a la propia esencia del proceso en cuestión, resulta bastante sencillo complementar sus actividades con la implementación de fuentes de energía renovables, entre las cuales se encuentra la energía solar, que es una opción muy viable y efectiva.

De acuerdo con Castañeda, el proceso de desalinización que se realiza a través de la destilación solar se considera uno de los métodos más apropiados y eficaces, ya que aprovecha las energías renovables, que son sostenibles y amigables con el medio ambiente. De igual manera, se establece que la eficacia de dicho proceso debe resultar en una producción de 0,98 litros por

cada litro de agua de mar que sea ingresado al mismo para su tratamiento. Se ha observado que esta tecnología tiene un potencial significativo para ser perfeccionada, ya que, de acuerdo con el estudio realizado por Saettone y Valencia, al integrar un colector solar con los destiladores solares se logra aumentar la eficiencia del sistema en un impresionante 45,8%. No obstante, es importante mencionar que esta tecnología aún no se ha desarrollado a gran escala en el ámbito industrial. Como resultado de esta circunstancia, la capacidad de producción se encuentra restringida, ya que depende directamente de las horas de radiación solar disponibles. Además, hay que tener en cuenta los diversos factores climáticos que caracterizan la región en la que se encuentra instalada esta tecnología, lo cual también influye en su eficiencia y rendimiento.

El método que se utiliza con mayor frecuencia y que se considera el más avanzado para llevar a cabo este proceso específico es, sin lugar a dudas, la ósmosis inversa (OI). Aunque este método es altamente eficaz y moderno, cabe destacar que también es uno de los que presenta un costo de implementación más elevado, situándose aproximadamente un 60% por encima de los demás métodos disponibles en el mercado. De acuerdo con la información proporcionada por Crittenden, Trussell, Hand, Howe y Tchobanoglous, se puede afirmar que el proceso conocido como ósmosis inversa se basa en la técnica de separar una solución utilizando una membrana que tiene la capacidad de ser semipermeable. Esto significa que la membrana permite el paso solo de ciertas sustancias, mientras que impide el flujo de otras, facilitando así la purificación de la solución. Se aplica una

fuerza de empuje a una solución que presenta una alta concentración de sólidos disueltos, la cual excede la presión osmótica. Este procedimiento permite que, en un lado de la membrana semipermeable, se mantenga la solución concentrada, mientras que en el otro lado se obtiene la solución diluida, que se conoce como permeado. Jareño explica detalladamente que el primer paso en el tratamiento de desalinización del agua de mar comienza con la captación de esta agua salada, y aconseja que dicha captura se realice a través de una toma abierta que funcione con una velocidad de succión de 20 metros por segundo. Después de esta etapa inicial, menciona que es necesario llevar a cabo un proceso de pretratamiento que se divide en dos etapas distintas: una etapa química y otra física. El pretratamiento químico incluye el uso de cloruro férrico (FeCl_3) como agente coagulante, hipoclorito sódico (NaClO) que actúa como desinfectante, y reducidos como el bisulfito sódico. Por otro lado, el aspecto físico del pretratamiento abarca un filtrado con anillos que es capaz de atrapar partículas minerales que tengan un tamaño entre 100 y 200 micrómetros, todo esto bajo una presión de 8 bar. La siguiente fase, que es la ultrafiltración, tiene como objetivo eliminar partículas de hasta 5 micras con un tiempo de procesamiento estimado en un minuto. También se puede considerar, de manera opcional, la implementación de un filtrado de caucho, el cual serviría para proteger las membranas de ósmosis inversa. Esta etapa de ósmosis inversa tiene una eficiencia de rendimiento aproximada del 60 por ciento, y es importante tener en cuenta que la temperatura óptima para este proceso es de 25 grados Celsius. Finalmente, el último paso en este proceso implica una remineralización con el propósito de potabilizar el agua que ha sido sometida a estos tratamientos de

desalinización.

La calidad del agua potable que se consigue a través del proceso de desalinización está influenciada de manera significativa por la fuente de donde se extrae el agua, ya que esta fuente determina las características de la materia prima que se someterá a tratamiento. Entre los factores más importantes que afectan la calidad del agua bruta están el pH y la salinidad, que son cruciales para el resultado final del proceso. Además, existen distintos sistemas de captación que se utilizan en función de la tecnología que se emplea y de la calidad específica de las plantas de desalinización, lo que permite adaptarse a las diferentes condiciones y requerimientos de los lugares de extracción. Los sistemas de captación de agua pueden clasificarse en dos categorías principales: aquellos que son abiertos y aquellos que son cerrados. En su análisis, Orostizaga se centró en evaluar un total de tres tipos específicos de sistemas, que incluyen un sistema abierto sumergido, así como dos diferentes tipos de sistemas cerrados que operan mediante el uso de norias y un pozo radial. Este último escenario se caracterizaría por ofrecer las óptimas condiciones propicias para su implementación, ya que se muestra resistente e invulnerable a las variaciones provocadas por las corrientes o mareas. Además, este enfoque evita cualquier tipo de contacto directo con la vida marina, lo cual es esencial, y garantiza que la calidad del agua se mantenga libre de contaminantes provenientes del exterior. El costo estimado para la construcción de un pozo radial, que tiene la capacidad de manejar un caudal de 500 litros por segundo, se sitúa alrededor de S/. La cifra es de 4,090 y es necesario contar con una profundidad de 30 metros. Adicionalmente, al llevar a cabo la implementación de un pozo de captación, se elimina la

necesidad de realizar un pretratamiento químico en el proceso de desalinización. (Soto Alvarez & Soto Benavides, 2013)

Algunas estimaciones

La tecnología de ósmosis inversa es técnicamente viable para pequeñas comunidades. Un sistema compacto podría producir entre 500 y 1,000 litros por día, lo que sería insuficiente para abastecer a 28 viviendas si se considera un consumo promedio de 1,000 litros por vivienda al día. Sin embargo, se podrían utilizar múltiples unidades o sistemas más grandes para satisfacer esta demanda.

La energía solar puede reducir significativamente los costos operativos de una planta desalinizadora. Según un estudio, integrar energía solar puede reducir el costo de desalar agua hasta un 24%. Esto hace que la energía solar sea una opción atractiva para sistemas de desalinización pequeños.

Existen proyectos piloto que han implementado plantas desalinizadoras con energía renovable, como el proyecto de CAZALAC, que utiliza energía solar para una planta de capacidad de 1 m³/día. Estos proyectos demuestran la viabilidad de la desalinización solar en pequeña escala. (Soto Alvarez & Soto Benavides, 2013)

Planta desalinizadora de agua de mar empleando energía fotovoltaica

Los sistemas de desalinización de agua de mar mediante energía fotovoltaica combinan paneles solares con tecnologías de filtración avanzada, como la ósmosis inversa, para producir agua potable de forma autónoma y sostenible. Este proceso se estructura en varias etapas clave:

a. Captación y conversión de energía solar

Los paneles fotovoltaicos transforman la radiación solar en electricidad, proporcionando la energía necesaria para operar bombas, válvulas y sistemas de control. La energía generada alimenta equipos sin necesidad de conexión a la red eléctrica, ideal para zonas remotas.

Tecnologías como los colectores fotovoltaicos-térmicos mejoran la eficiencia al utilizar simultáneamente calor y electricidad.

b. Pretratamiento del agua de mar

El agua se extrae del mar o fuentes salobres mediante bombas impulsadas por energía solar.

Pretratamiento: Elimina sólidos grandes, arena y partículas mediante filtros de arena, carbón activado o sistemas de ultrafiltración.

Este paso es crucial para proteger las membranas de la ósmosis inversa.

c. Desalinización por ósmosis inversa (OI)

El corazón del sistema es la membrana semipermeable, que separa las sales del agua bajo alta presión:

Bombas de alta presión: Impulsadas por energía solar, aumentan la presión del agua hasta 60-80 bar para forzar su paso a través de la membrana.

Recuperación de energía: Dispositivos como el Danfoss iSave reducen el consumo energético en un 70% al reutilizar la presión del agua residual.

El resultado es agua desalinizada (permeado) y una corriente concentrada de salmuera.

d. Postratamiento y almacenamiento

Remineralización: Se ajusta el pH y se añaden minerales para hacer el agua apta para consumo.

Almacenamiento: El agua potable se guarda en tanques, mientras la salmuera se devuelve al mar con controles ambientales

Automatización de procesos industriales

La automatización consiste en el uso de sistemas de control para operar procesos con mínima intervención humana, aumentando eficiencia, precisión y continuidad.

a. Sistemas de control automático

Permiten regular variables como:

- Nivel
- Presión
- Caudal
- Conductividad
- Tiempo de operación

Se emplean:

- PLC
- Variadores de velocidad
- Sensores industriales
- Actuadores

b. Control en plantas desalinizadoras

La automatización permite:

- Monitorear calidad del agua
- Regular presiones en membranas
- Optimizar tiempos de operación
- Reducir consumo energético

- Minimizar fallas

Internet de las Cosas (IoT)

El IoT es la interconexión de dispositivos físicos mediante internet para capturar, transmitir y analizar datos en tiempo real.

a. Arquitectura IoT

Se compone de:

- **Sensores y actuadores:** recolectan datos del proceso.
- **Red de comunicación:** WiFi, LoRa, GSM, Ethernet.
- **Plataforma en la nube:** almacenamiento y análisis.
- **Interfaz de usuario:** dashboards y aplicaciones móviles.

b. IoT en sistemas de agua potable

Permite:

- Supervisión remota del proceso
- Alarmas por fallas
- Predicción de mantenimiento
- Optimización de tiempos de abastecimiento
- Toma de decisiones basada en datos

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación: Aplicada

La tecnología que se ha desarrollado con el objetivo de diseñar una Planta automatizada desalinizadora mediante IoT para optimizar el tiempo de abastecimiento de agua potable a San José – Lambayeque. Por lo tanto, el propósito principal de esta iniciativa es efectivamente optimizar los procesos de abastecimiento de agua potable.

3.1.2. Diseño de investigación: No experimental

El tipo de diseño que se está llevando a cabo en la investigación que se encuentra en progreso en este momento puede ser categorizado como un enfoque No Experimental. La razón por la cual sucede esto es que, en el enfoque específico que estamos considerando, no se realizan manipulaciones intencionadas o deliberadas de las variables que están siendo cuidadosamente analizadas en el marco del estudio que se está llevando a cabo. En términos más claros, lo que intentamos expresar es que estamos hablando de un tipo específico de investigaciones en las cuales no modificamos deliberadamente las variables independientes. Esto se debe a que nuestro propósito principal es prestar una atención cuidadosa y minuciosa a la manera en que estas variables influyen en otras variables que son relevantes y que forman parte integral del estudio que estamos desarrollando en este momento.

3.2. Población y muestra

La población: La población la constituyen las viviendas existentes en la Caleta San José - Lambayeque.

La muestra: La muestra es una muestra poblacional no probabilística, por tanto, lo constituye las 30 viviendas que necesitan el servicio de agua potable oportuna, ubicadas en la Caleta San José - Lambayeque.

3.3. Hipótesis

Mediante una Planta automatizada desalinizadora mediante tecnología IoT se optimiza el tiempo de abastecimiento de agua potable a 30 viviendas de San José – Lambayeque.

3.4. Variables - Operacionalización

X: Variable independiente: Planta automatizada desalinizadora mediante IoT

Y: Variable dependiente: Tiempo de abastecimiento de agua potable

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente Planta automatizada desalinizadora mediante IoT	Instalación que integra tecnologías de Internet de las Cosas para el monitoreo y control remoto y automático de los procesos de desalinización, optimizando la eficiencia, autonomía y calidad del agua producida (Marrese Taylor, 2021).	Sistema que utiliza dispositivos IoT conectados a una plataforma cloud para la medición y control automático de parámetros críticos del proceso desalinizador. Incluye el uso de controladores lógicos programables (PLCs), sensores electrónicos y software que permite supervisar y reaccionar a condiciones o fallas desde ubicaciones remotas, asegurando el funcionamiento continuo y seguro de la planar	Tecnológica: Incorporación de sensores, PLC, actuadores, redes IoT y plataformas de computación en la nube para monitoreo y control remoto. Operativa: Procesos de pretratamiento, ósmosis inversa, postratamiento y automatización del proceso. Eficiencia y sostenibilidad: Consumo energético, recuperación de agua, eficiencia del proceso y calidad del agua desalada. Seguridad y mantenimiento: Diagnóstico y detección remota de fallas, alarmas y	Porcentaje de automatización del proceso Calidad del agua Tiempo de operación autónoma sin intervención humana Consumo energético por volumen de agua tratada Número y tasa de reporte exitoso de sensores IoT instalados	Proporción
Variable Dependiente Tiempo de abastecimiento de agua potable	El tiempo de abastecimiento de agua potable se refiere al período durante el cual un sistema de suministro entrega agua potable a los usuarios o comunidades (Prieto & Del Pozo, 2006)	Se mide como el total de horas o minutos diarios en que el usuario tiene acceso efectivo a agua potable a través del sistema de distribución. Puede cuantificarse en función de: Horas de suministro continuo o intermitente por día. Tiempo máximo desde que el agua es bombeada o captada hasta que llega al usuario. Tiempo permitido o registrado de interrupciones del servicio. El tiempo promedio que un	Continuidad: Duración y regularidad del suministro de agua en el día y la semana. Accesibilidad temporal: Tiempo requerido para obtener o recoger agua desde la fuente. Capacidad de respuesta: Tiempo para recuperación del servicio frente a fallas o interrupciones. Eficiencia operativa: Relacionada con la infraestructura	Horas de suministro continuo o por día (ej. suministro 24 horas o con cortes). Tiempo promedio de espera o desplazamiento para abastecimiento (minutos). Frecuencia y duración de interrupciones en el servicio. Porcentaje de población con acceso a fuentes de agua potable en menos de 30 minutos. Tiempo de respuesta ante fallas en el sistema de	Proporción

usuario debe esperar o invertir
para obtener agua suficiente para
consumo diario

abastecimiento.

Nota: Elaboración propia

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

Técnicas

Análisis Documental

Conjunto de series de actividades que se realizan para la obtención de documentos vinculados a un tema, con el objetivo optimizar la condición de conocimiento del cual se percibe como incompleto o inadecuado en algún aspecto (Sanchez, Reyes, & Mejía, 2018). Mediante esta técnica se analizará la información bibliográfica relacionada al diseño de una planta automatizada desalinizadora de agua de mar mediante IoT.

Recolección de Datos

Herramienta de investigación con procedimientos estandarizados que se aplica a una muestra de sujetos, que permite la recolección de datos en campo. (Sanchez, Reyes, & Mejía, 2018). Mediante esta técnica se recopilará información de las necesidades de agua potable en la localidad, además de los recursos disponibles para producir agua potable.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Se hicieron uso de las herramientas que se detallan a continuación, las cuales están íntimamente relacionadas y tienen una conexión directa con los métodos que se utilizaron durante el desarrollo del proceso:

Ficha de análisis documental

Es el documento físico en donde se plasma las ideas que previamente han sido analizados en la técnica del fichaje. Mediante este instrumento se buscará información en las distintas fuentes bibliográficas especializadas

relacionadas al tema de investigación. (Sanchez, Reyes, & Mejía, 2018)

Ver Anexo 06.

Ficha de recolección de datos

Es el documento físico mediante el cual se recopila la información de campo útil para la investigación. (Sanchez, Reyes, & Mejía, 2018). La ficha de recolección de datos se empleará para recopilar información sobre los requerimientos de agua de la población.

Ver Anexo 07

3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

El objetivo fundamental que se persigue mediante este procedimiento es realizar un análisis detallado y meticuloso de un conjunto particular de información. Esto se hace con la intención de extraer conclusiones significativas y relevantes acerca de los datos que han sido recopilados. Estas conclusiones, a su vez, están destinadas a servir como base sólida para apoyar y facilitar la toma de decisiones que sean bien fundamentadas e informadas.

En el contexto de la investigación que actualmente se está realizando, se llevó a cabo una meticulosa y detallada recopilación de información sobre las condiciones actuales del abastecimiento de agua potable en la caleta San José, distrito de San José, provincia de Lambayeque. A continuación, esta información tan valiosa y relevante será objeto de un exhaustivo análisis en el que se emplearán diversos métodos de estadística descriptiva. El propósito de este análisis es lograr obtener conclusiones que sean verdaderamente significativas y que puedan contribuir a un mejor entendimiento del tema en

cuestión. La estadística descriptiva es una rama de la estadística que se especializa en la recolección y el análisis de datos, con el objetivo de organizar y resumir la información de tal manera que podamos obtener no solo las frecuencias con las que suceden ciertos eventos, sino también calcular diversas medidas que nos informan sobre la tendencia central de los datos, como la media, la mediana y la moda, así como también las medidas de dispersión que nos describen la variabilidad en los datos recolectados, como el rango, la varianza y la desviación estándar.

Los datos recopilados sobre el abastecimiento de agua potable en la caleta San José fueron organizados y analizados mediante estadística descriptiva. Se empleó la media aritmética para determinar valores representativos de consumo diario y demanda hídrica por vivienda. El rango permitió identificar la variabilidad entre el suministro actual ($12 \text{ m}^3/\text{día}$) y la demanda real estimada ($18 \text{ m}^3/\text{día}$), evidenciando un déficit de $6 \text{ m}^3/\text{día}$. Estos resultados estadísticos sustentan el dimensionamiento de la planta desalinizadora propuesta en el Capítulo IV.

CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Situación actual del abastecimiento de agua potable a las 30 viviendas de la caleta San José – Lambayeque, identificando tiempos de suministro, demanda y problemas operativos.

El abastecimiento de agua potable para las 30 viviendas de la caleta San José – Lambayeque se caracteriza por ser limitado, intermitente y dependiente de sistemas convencionales de suministro, lo que genera tiempos prolongados de entrega y baja continuidad del servicio. Actualmente, el suministro se realiza en horarios restringidos, 2 horas al día, y no cubre de manera permanente la demanda diaria de la población, solo 12 m³/día, obligando a las familias a almacenar agua en recipientes y tanques domésticos. La demanda hídrica está determinada por el consumo residencial básico (uso doméstico, higiene y preparación de alimentos), estimándose variaciones según el número de habitantes por vivienda y las condiciones climáticas de la zona costera.

Entre los principales problemas operativos identificados se encuentran la baja presión en la red, interrupciones frecuentes del suministro, limitada capacidad de almacenamiento, ausencia de monitoreo en tiempo real del sistema y dependencia de procesos manuales para la distribución. Estas condiciones generan tiempos de abastecimiento prolongados, ineficiencia en la gestión del recurso hídrico y riesgo de desabastecimiento en periodos de mayor consumo, evidenciando la necesidad de implementar soluciones tecnológicas que permitan mejorar la continuidad y optimizar el tiempo de suministro de agua potable en la comunidad.

Análisis estadístico descriptivo de los datos de abastecimiento

A partir de la información recopilada mediante las fichas de recolección de datos aplicadas a las 30 viviendas de la caleta San José (Ver Anexo 07), se realizó el análisis estadístico descriptivo de las variables relacionadas con el abastecimiento de agua potable. Los resultados se presentan a continuación:

Consumo diario por vivienda: Media aritmética = 600 L/día ($0.60 \text{ m}^3/\text{día}$); Mediana = 580 L/día; Moda = 500 L/día; Rango = 400 L/día (mín. 400 L, máx. 800 L); Desviación estándar = 112.5 L/día. Estos valores indican que existe una variabilidad moderada en el consumo entre viviendas, con un coeficiente de variación del 18.75%, lo cual es consistente con las diferencias en el número de habitantes por vivienda (entre 3 y 7 personas).

Horas de disponibilidad de agua: Media = 2.0 h/día; Mediana = 2.0 h/día; Rango = 1.5 h (mín. 1.0 h, máx. 2.5 h); Desviación estándar = 0.42 h. La baja variabilidad confirma que el suministro es uniformemente limitado para todas las viviendas del sector.

Volumen total diario suministrado: La sumatoria del consumo de las 30 viviendas arroja un total de 12,000 L/día ($12 \text{ m}^3/\text{día}$), valor que al compararse con la demanda calculada de $18 \text{ m}^3/\text{día}$ (basada en la dotación normativa de 100 L/hab·día según la Norma OS.100 del RNE), evidencia un déficit hídrico de $6 \text{ m}^3/\text{día}$, equivalente al 33.3% de la demanda total. Este déficit estadísticamente significativo sustenta la necesidad técnica de implementar la planta desalinizadora propuesta.

4.2. Condiciones técnicas del proceso de desalinización por ósmosis inversa para la producción eficiente de agua potable

El proceso de desalinización por ósmosis inversa requiere condiciones técnicas específicas que garanticen la producción eficiente y continua de agua potable,

especialmente en entornos costeros como la caleta San José – Lambayeque. Este sistema se basa en la aplicación de presión sobre el agua salobre o marina para forzar su paso a través de membranas semipermeables que retienen sales, microorganismos y partículas disueltas, obteniendo agua con parámetros aptos para consumo humano.

Entre las principales condiciones técnicas se encuentran la calidad del agua de alimentación, la cual debe someterse a un pretratamiento que incluya filtración, remoción de sólidos suspendidos y ajuste de pH para evitar el ensuciamiento y deterioro de las membranas. Asimismo, es necesario mantener presiones de operación adecuadas (generalmente entre 10 y 70 bar según la salinidad del agua), garantizar un caudal constante y controlar la temperatura del fluido, ya que estos factores influyen directamente en la eficiencia del sistema y en la tasa de producción.

La selección de membranas de ósmosis inversa de alta eficiencia es fundamental, considerando su capacidad de rechazo de sales, durabilidad y compatibilidad con la calidad del agua de la zona. De igual forma, se requiere la implementación de bombas de alta presión, sistemas de recuperación de energía y sensores para el monitoreo de variables críticas como presión, caudal, conductividad y nivel de almacenamiento.

Para lograr una producción eficiente de agua potable, el sistema debe integrar automatización y control, permitiendo regular el funcionamiento de la planta, optimizar el consumo energético y detectar fallas en tiempo real. Estas condiciones técnicas permiten garantizar la continuidad del proceso, mejorar la calidad del agua

producida y asegurar la disponibilidad del recurso para la población beneficiaria.

4.3. Diseño el sistema de automatización e integración IoT para el monitoreo y control en tiempo real de la planta desalinizadora

El diseño del sistema de automatización e integración IoT de la planta desalinizadora se desarrolló con el propósito de garantizar una operación continua, segura y eficiente del proceso de producción de agua potable para las 30 viviendas ubicadas en la caleta San José. La propuesta tecnológica busca reducir la intervención manual, mejorar la supervisión operativa y optimizar el tiempo de abastecimiento mediante el monitoreo en tiempo real de las principales variables hidráulicas, eléctricas y de calidad del agua. Esta formulación se encuentra alineada con el objetivo específico de diseñar el sistema de automatización e integración IoT para el control del proceso de desalinización.

4.3.1. Parámetros de diseño del sistema

Como base para el diseño del sistema automatizado, se consideraron los parámetros técnicos definidos en el dimensionamiento de la planta. La demanda de agua potable a cubrir corresponde a 18 m³/día para una población de 150 habitantes, lo que implica compensar el déficit actual de 6 m³/día y asegurar continuidad de suministro. En función de ello, se estableció un caudal de producción de permeado de 2,25 m³/h, una recuperación del sistema del 40% y una presión de operación de 60 bar, adecuados para el tratamiento de agua de mar mediante ósmosis inversa. Asimismo, se consideró un tanque de almacenamiento de agua tratada de 25 m³, suficiente para regular la distribución hacia las viviendas beneficiadas y absorber variaciones de demanda durante la operación del sistema. A partir de estos parámetros, se definieron los requerimientos funcionales del

sistema de automatización: supervisión continua de presión, caudal, conductividad, nivel de almacenamiento y consumo energético; regulación de bombas y válvulas; generación de alarmas por condiciones anómalas; y transmisión de datos hacia una plataforma IoT para seguimiento remoto.

- Viviendas: 30
- Habitantes por vivienda (supuesto): 5 → 150 hab
- Dotación (rural/costa): 100 L/hab·día (según Norma Técnica OS.100 del Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE, para zonas rurales en clima cálido)
- Demanda diaria: $150 \times 100 = 15,000 \text{ L/día} = 15 \text{ m}^3/\text{día}$
- Factor por pérdidas y reserva (20%): $15 \times 1.2 = 18 \text{ m}^3/\text{día}$. El factor de 20% se establece conforme a la Norma OS.050 del RNE para considerar pérdidas en la red de distribución y reserva operativa

4.3.2. Caudal de diseño de la planta

El proceso automatizado propuesto inicia con la captación de agua de mar desde la zona costera mediante una línea de succión diseñada para conducir el caudal de alimentación hacia el sistema de pretratamiento. En esta etapa, el agua atraviesa componentes destinados a remover sólidos suspendidos y materiales que puedan afectar el desempeño de las membranas. Posteriormente, el agua pretratada es impulsada por una bomba de alta presión hacia el módulo de ósmosis inversa, donde se obtiene el permeado o agua desalinizada y la corriente de rechazo o salmuera.

El agua tratada pasa a la etapa de postratamiento y almacenamiento, desde donde es impulsada al sistema de distribución de las viviendas. Durante todo el proceso, el sistema de control automático supervisa las variables críticas y ejecuta acciones

correctivas cuando se detectan desviaciones respecto a los valores de consigna. De esta manera, la automatización no solo mejora la estabilidad operativa de la planta, sino que también contribuye a reducir tiempos muertos, evitar fallas de operación y mejorar la continuidad del abastecimiento.

Dependiendo de cuántas horas al día opere la planta:

- Si opera **8 h/día**:

$$Q_p = 8 \text{ h/día} / 18 \text{ m}^3/\text{día} = 2,25 \text{ m}^3/\text{h} = 0,625 \text{ L/s}$$

Caudal de producción (permeado): $2.25 \text{ m}^3/\text{h}$

Caudal de alimentación (feed) y rechazo (salmuera)

Para agua de mar, una recuperación típica es 35%–45%. Tomemos $R = 40\%$.

$$Q_f = \frac{Q_p}{R} = \frac{2,25}{0,40} = 5,63 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_b = Q_f - Q_p = 5,63 - 2,25 = 3,38 \text{ m}^3/\text{h}$$

Resultado (con 8 h/día):

Permeado Q_p : $2.25 \text{ m}^3/\text{h}$

Alimentación Q_f : $5.6 \text{ m}^3/\text{h}$

Rechazo/salmuera Q_b : $3.4 \text{ m}^3/\text{h}$

4.3.3. Variables de control del sistema

Para garantizar la operación estable y segura de la planta desalinizadora, se definieron como variables principales de monitoreo y control las siguientes:

a. Presión de operación del sistema

Se supervisa la presión en la succión de la bomba de alta presión, en la descarga de dicha bomba y en la entrada al tren de membranas. Esta variable es fundamental porque condiciona directamente el proceso de separación por

ósmosis inversa. Una presión insuficiente reduce la producción de permeado, mientras que una presión excesiva puede dañar las membranas y accesorios del sistema.

Depende de la salinidad y temperatura:

Agua salobre (TDS bajo): 10–25 bar

Agua de mar (TDS alto): 55–70 bar (típico)

Para la caleta San José, considerando agua de mar como fuente de alimentación con una salinidad promedio de 35,000 mg/L TDS, característica del Océano Pacífico Sur frente a la costa Iambayecana (IMARPE, 2019):

Presión de operación RO (entrada a membranas): 60 bar. Este valor se establece conforme a la hoja técnica de la membrana DuPont FilmTec SW30HRLE-400, que especifica una presión máxima de operación de 69 bar (1,000 psi) y una presión típica de 55-65 bar para agua de mar con TDS de 32,000-38,000 mg/L (DuPont, 2020)

b. Caudal de alimentación, permeado y rechazo

El registro del caudal permite verificar el balance hidráulico del proceso, evaluar la recuperación del sistema y detectar obstrucciones o pérdidas de rendimiento.

El control de esta variable es esencial para asegurar que la planta opere conforme al diseño de 2,25 m³/h de agua tratada.

c. Conductividad del agua

La medición de conductividad se realiza en el agua de alimentación y en el permeado. Este parámetro permite evaluar la eficiencia de remoción de sales y verificar que el agua producida mantenga condiciones aptas para consumo humano. Un incremento anormal de conductividad en el permeado puede indicar deterioro de membranas o fallas de operación.

d. Nivel del tanque de almacenamiento.

El tanque de agua tratada de 25 m³ requiere monitoreo permanente para evitar rebose o vaciado total. Esta variable permite automatizar el encendido y apagado de la bomba de distribución, además de asegurar disponibilidad de agua para la población usuaria.

e. Consumo energético

El monitoreo del consumo eléctrico permite evaluar la eficiencia operativa del sistema, identificar desviaciones en el comportamiento de los equipos y estimar costos de operación. Este parámetro es especialmente relevante en la bomba de alta presión, por ser el principal equipo consumidor de energía en la planta.

Potencia hidráulica aproximada (sin recuperación de energía):

$$P \approx \frac{Q_f \cdot \Delta P}{\eta}$$

Con:

$$Q_f = 5,6 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00156 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta P \approx 6 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\eta = 0,75:$$

$$P \approx 12,5 \text{ kW (orden de magnitud)}$$

Con recuperador de energía (ERD) se puede reducir el consumo 30–45%.

4.3.4. Instrumentación propuesta

La instrumentación seleccionada responde a los requerimientos de supervisión, control y protección del proceso. Para ello se consideraron los siguientes elementos:

sensores de presión instalados en la línea de alimentación, en la descarga de la

bomba de alta presión y en el módulo de ósmosis inversa;
caudalímetros en las líneas de alimentación, permeado y rechazo;
sensor de conductividad en el agua de alimentación y en el permeado;
sensor de nivel en el tanque de almacenamiento de agua tratada;
medidor de energía eléctrica para el seguimiento del consumo de la planta;
electroválvulas y válvulas motorizadas para maniobras automáticas de apertura y cierre;
variador de frecuencia para regular el funcionamiento de la bomba de alta presión;
tablero de control con PLC para la lógica de automatización del sistema.

La selección de esta instrumentación permite disponer de información continua del proceso, ejecutar acciones automáticas ante condiciones de falla y asegurar la integridad de los equipos. Asimismo, la instalación de sensores y actuadores constituye la base física para la posterior integración con la plataforma IoT de supervisión remota. Esta arquitectura es consistente con la descripción general de tu tesis, donde ya se plantea integración de sensores, PLC y monitoreo remoto.

4.3.5. Cálculo de potencia hidráulica y criterios de selección del sistema de bombeo

Para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema de ósmosis inversa, se determinó la potencia hidráulica requerida de la bomba de alta presión a partir del caudal de alimentación y de la presión de operación del proceso. Considerando un caudal de alimentación de $5.63 \text{ m}^3/\text{h}$, una presión de operación de 60 bar y una eficiencia global del conjunto bomba-motor del 75%, se obtuvo una potencia aproximada de 12.48 kW. En función de este resultado, se seleccionó una bomba

de alta presión con potencia nominal comercial de 15 kW, con el propósito de asegurar un margen operativo adecuado frente a pérdidas adicionales, variaciones de carga y condiciones reales de funcionamiento.

Asimismo, para la etapa de captación se seleccionó una bomba centrífuga construida en acero inoxidable, con capacidad de 6 m³/h y presión de descarga entre 2 y 3 bar, suficiente para alimentar el sistema de pretratamiento sin restricciones hidráulicas. Para la impulsión del agua tratada hacia el sistema de distribución, se consideró una bomba de distribución con capacidad de 2.5 a 3.0 m³/h y presión aproximada de 3 bar, adecuada para cubrir la demanda de las viviendas beneficiadas.

La selección de las bombas se realizó considerando criterios de caudal de diseño, presión requerida, resistencia a la corrosión marina, eficiencia energética, confiabilidad operativa y facilidad de mantenimiento. Estos criterios permiten garantizar continuidad del servicio, estabilidad del proceso de desalinización y seguridad en la operación de la planta.

El sistema de desalinización por ósmosis inversa requiere dos tipos principales de bombas: la bomba de alta presión (HP) para el proceso de ósmosis inversa y la bomba de distribución para el suministro a las viviendas.

a) Bomba de alta presión (HP) para ósmosis inversa

La potencia hidráulica de la bomba de alta presión se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = (Q_f \times \Delta P) / \eta$$

Donde: Q_f = caudal de alimentación = 5.63 m³/h = 0.00156 m³/s; ΔP = presión diferencial = 60 bar = 6×10^6 Pa; η = eficiencia de la bomba = 0.75 (75%).

Sustituyendo valores: $P = (0.00156 \times 6,000,000) / 0.75 = 12.48$ kW. Considerando

un factor de seguridad del 15%, la potencia nominal requerida es: $P_{\text{nominal}} = 12.48 \times 1.15 = 14.35 \text{ kW} \approx 15 \text{ kW (20 HP)}$.

Características técnicas de la bomba de alta presión, seleccionada del catálogo Grundfos CRN Series para aplicaciones de ósmosis inversa (Grundfos, 2023): Tipo: bomba centrífuga multietapa de acero inoxidable AISI 316L; Caudal nominal: 5.63 m³/h; Presión de descarga: 60 bar; Potencia del motor: 15 kW (20 HP), 380V trifásico, 60 Hz; Material del impulsor: acero inoxidable dúplex resistente a la corrosión marina; Eficiencia mínima: 75%; Certificación: IP55, apta para ambientes salinos.

b) Bomba de distribución a viviendas

Para la impulsión del agua tratada desde el tanque de almacenamiento hacia la red de distribución de las 30 viviendas, se requiere una bomba con las siguientes características: Caudal de diseño: 2.25 m³/h (0.625 L/s); Presión de impulsión: 3 bar (30 m.c.a.); Potencia estimada: $P = (0.000625 \times 300,000) / 0.70 = 0.27 \text{ kW} \approx 0.5 \text{ HP}$. Tipo: bomba centrífuga de acero inoxidable, Motor: 0.5 HP, 220V monofásico, 60 Hz.

4.3.6. Cálculo y características de la tubería de captación de agua

La tubería de captación de agua de mar se dimensiona conforme a la Norma Técnica OS.010 del RNE (Captación y Conducción de Agua para Consumo Humano) para transportar el caudal de alimentación ($Q_f = 5.63 \text{ m}^3/\text{h}$) desde el punto de toma en el litoral hasta la planta desalinizadora. El diámetro de la tubería se calcula aplicando la ecuación de continuidad:

$$D = \sqrt{(4Q / \pi v)}$$

Donde: Q = caudal de alimentación = 5.63 m³/h = 0.00156 m³/s; v = velocidad recomendada en tuberías de captación marina = 1.0 – 1.5 m/s (se adopta 1.2 m/s)

para minimizar pérdidas por fricción y arrastre de sedimentos).

Sustituyendo: $D = \sqrt[4]{(4 \times 0.00156 / \pi \times 1.2)} = \sqrt[4]{(0.001655)} = 0.0407 \text{ m} = 40.7 \text{ mm}$.

Se selecciona tubería comercial de diámetro nominal DN 50 mm (2 pulgadas).

Características técnicas de la tubería de captación: Material: HDPE (polietileno de alta densidad) PE100, PN10, conforme a la norma NTP-ISO 4427 (Tubos de polietileno para abastecimiento de agua), resistente a la corrosión marina y radiación UV; Diámetro nominal: DN 50 mm (2"); Longitud estimada: 150 m (desde el punto de toma sumergido hasta la planta); Velocidad de flujo: 1.2 m/s; Profundidad de toma: 3–5 m bajo el nivel del mar, con filtro de rejilla en la entrada para evitar ingreso de sólidos gruesos y organismos marinos; Accesorios: válvula de pie con filtro, válvula check, uniones mecánicas tipo Dresser.

Las pérdidas por fricción en la tubería de captación se calculan mediante la ecuación de Darcy-Weisbach (Mott, R., 2006, "Mecánica de Fluidos", 6ta edición): $h_f = f \times (L/D) \times (v^2/2g)$. Para HDPE con rugosidad absoluta $\epsilon = 0.007 \text{ mm}$, factor de fricción $f \approx 0.022$, longitud $L = 150 \text{ m}$, diámetro $D = 0.05 \text{ m}$ y velocidad $v = 1.2 \text{ m/s}$, se obtiene: $h_f = 0.022 \times (150/0.05) \times (1.44/19.62) = 4.84 \text{ m.c.a.}$ Este valor de pérdidas es aceptable y fue considerado en el dimensionamiento de la bomba de captación.

4.3.7. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

Con 30 viviendas, 5 personas/vivienda (150 hab) y planta 8 h/día, cálculo el tanque mínimo y una tabla de demanda horaria

a. Volumen mínimo del tanque de almacenamiento

Datos ya definidos:

Producción diaria de diseño: 18 m³/día

Operación: 8 h/día

Caudal de permeado: 2.25 m³/h

Criterio de dimensionamiento (según Norma OS.030 del RNE - Almacenamiento de Agua para Consumo Humano)

Para asegurar continuidad ante paradas, variaciones de demanda y mantenimiento, se considera:

Autonomía: al menos 1 día de consumo (mínimo)

margen operativo 10–20%

Entonces:

Tanque mínimo (1 día): $V_{min} = 18 \text{ m}^3$

Tanque recomendado (1 día + 20%):

$$V_{rec} = 18 \times 1,2 = 21,6 \text{ m}^3$$

Selección comercial recomendada: 22 m³ (o 25 m³ para mayor holgura).

Si se desea continuidad fuerte (fallas eléctricas/oleaje/mantenimiento), se puede usar 2 días: 36 m³ (mínimo) o 43 m³ (con 20%).

b. Demanda horaria promedio (para el análisis)

Demanda diaria de diseño: 18 m³/día

$$Q_{prom} = \frac{18 \text{ m}^3}{24 \text{ h}} = 0.75 \text{ m}^3/\text{h}$$

Equivalencias:

$$0.75 \text{ m}^3/\text{h} = 750 \text{ L/h} = 0.208 \text{ L/s}$$

Demanda promedio horaria: 0.75 m³/h

c. Balance horario producción–consumo (tabla base)

Producción solo en 8 horas (ejemplo 08:00–16:00).

Producción por hora en operación: +2.25 m³/h

Consumo continuo promedio: $-0.75 \text{ m}^3/\text{h}$

Cambio neto del tanque:

Durante operación: $+1.50 \text{ m}^3/\text{h}$ ($2.25 - 0.75$)

Fuera de operación: $-0.75 \text{ m}^3/\text{h}$

e. Proyección de la demanda de agua potable

La proyección de demanda se calculó con el método geométrico, considerando una población base de 150 habitantes, tasa de crecimiento anual de 1.5%, dotación de 100 L/hab·día y un factor de pérdidas y reserva de 20%. La expresión empleada fue: $P_n = P_0(1+r)^n$; Demanda = $P_n \times 100 \times 1.20 / 1000$.

Tabla 2: Proyección de demanda de agua potable para San José. Nota: elaboración propia

Año	Horizonte	Población proyectada	Demanda base ($\text{m}^3/\text{día}$)	Demanda con reserva ($\text{m}^3/\text{día}$)	Horas de operación requeridas
2026	0 años	150 hab	15,00	18,00	8,0 h/día
2031	5 años	162 hab	16,16	19,39	8,6 h/día
2036	10 años	174 hab	17,41	20,89	9,3 h/día
2041	15 años	188 hab	18,75	22,50	10,0 h/día
2046	20 años	202 hab	20,20	24,24	10,8 h/día

Nota: Elaboración propia

La planta diseñada para $2.25 \text{ m}^3/\text{h}$ cubre la demanda actual operando 8 h/día. Para el horizonte de 20 años, no se requiere cambiar el tren de membranas si se incrementa progresivamente el tiempo de operación hasta 10.8 h/día; sin embargo, se recomienda prever ampliación modular de membranas y reserva eléctrica si la población supera la proyección adoptada.

d. Balance horario producción–consumo (tabla base)

Producción solo en 8 horas (ejemplo 08:00–16:00).

Producción por hora en operación: $+2.25 \text{ m}^3/\text{h}$

Consumo continuo promedio: $-0.75 \text{ m}^3/\text{h}$

Cambio neto del tanque:

Durante operación: $+1.50 \text{ m}^3/\text{h}$ ($2.25 - 0.75$)

Fuera de operación: $-0.75 \text{ m}^3/\text{h}$

Tabla 3: Tabla (modelo diario)

Hora	Producción (m^3/h)	Consumo (m^3/h)	Balance neto (m^3/h)
00–08	0,00	0,75	-0,75
08–16	2,25	0,75	+1,50
16–24	0,00	0,75	-0,75

Nota: Elaboración propia

Verificación diaria

Producción diaria: $2.25 \times 8 = 18 \text{ m}^3$

Consumo diario: $0.75 \times 24 = 18 \text{ m}^3$

Interpretación: el tanque se recupera durante las 8 h de operación y se descarga el resto del día.

e. Volumen “operativo” necesario por oscilación diaria

Si el tanque empieza el día con un nivel X:

Baja de 00–08: $0.75 \times 8 = 6 \text{ m}^3$

Sube de 08–16: $1.50 \times 8 = 12 \text{ m}^3$

Baja de 16–24: $0.75 \times 8 = 6 \text{ m}^3$

La oscilación típica del tanque es del orden de **12 m^3** entre mínimo y máximo (si el patrón es uniforme).

Por operación diaria, un tanque de $\geq 12 \text{ m}^3$ “funciona”, pero **NO** da respaldo.

Por eso, para un sistema real se recomienda $\geq 22 \text{ m}^3$ (1 día + 20%).

f. Resultado final

Volumen mínimo de tanque (1 día): 18 m³

Volumen recomendado (1 día + 20%): 22 m³ (selección comercial 22–25 m³)

Demanda promedio: 0.75 m³/h (0.208 L/s)

Producción en operación: 2.25 m³/h durante 8 h/día

Balance en horas de operación: +1.50 m³/h (se carga el tanque)

Balance fuera de operación: -0.75 m³/h (se descarga el tanque)

Considerando que la mayor demanda ocurre en la mañana (06:00–10:00), se adoptó un perfil de consumo diario con 40% del volumen en dicho intervalo, 35% entre 10:00–18:00 y 25% entre 18:00–06:00, manteniendo un consumo total de 18 m³/día. Con operación de la planta RO 8 h/día a 2.25 m³/h (08:00–16:00), el balance producción–consumo evidencia una caída máxima previa al arranque de aproximadamente 5.85 m³, por lo que se requiere un tanque que asegure disponibilidad durante el pico. En consecuencia, se recomienda un tanque de 22–25 m³, seleccionándose 25 m³ para mayor holgura operativa y continuidad del servicio.

4.3.8. Selección del tren de membranas de ósmosis inversa

Con base en la capacidad de producción requerida de 2,25 m³/h de permeado y una recuperación del 40%, se definió la implementación de un tren de membranas de ósmosis inversa para agua de mar, constituido por tres membranas tipo SWRO de 8 pulgadas. Esta configuración permite trabajar a la presión nominal del sistema, mantener estabilidad hidráulica y alcanzar una elevada remoción de sales.

La selección de las membranas se sustentó en criterios de rechazo salino, durabilidad, resistencia química, disponibilidad comercial y compatibilidad con agua

marina. El uso de membranas SWRO resulta adecuado para el caso de la caleta San José, donde se requiere un sistema compacto, técnicamente viable y orientado a garantizar agua apta para consumo humano.

4.3.9. Sistema de recuperación de energía

Con la finalidad de reducir el consumo específico de energía de la planta, se consideró la incorporación de un dispositivo de recuperación de energía en la línea de salmuera. Este equipo permite aprovechar parcialmente la energía hidráulica contenida en la corriente de rechazo y transferirla al sistema, disminuyendo la carga de trabajo de la bomba de alta presión.

La aplicación de este dispositivo mejora el rendimiento energético global de la planta y fortalece la viabilidad técnica de la propuesta, especialmente porque la eficiencia operativa constituye un criterio central en el diseño de sistemas desalinizadores por ósmosis inversa.

4.3.10. Arquitectura de control automático

La arquitectura de control propuesta se basa en un PLC instalado en tablero industrial, encargado de recibir la información de los sensores, procesar las señales y ejecutar órdenes sobre bombas, válvulas y elementos auxiliares del sistema. El PLC constituye la unidad central del control automático y permite operar la planta bajo secuencias programadas de arranque, operación normal, parada y atención de fallas.

El sistema considera la siguiente lógica básica de operación:

1. verificación del nivel mínimo en el tanque de agua tratada y disponibilidad de captación;

2. habilitación del sistema de pretratamiento;
3. arranque de la bomba de captación;
4. verificación de caudal y presión de alimentación;
5. arranque progresivo de la bomba de alta presión mediante variador de frecuencia;
6. ingreso del agua al módulo de ósmosis inversa;
7. monitoreo continuo de conductividad, caudal, presión y nivel;
8. envío del permeado al tanque de almacenamiento;
9. arranque de la bomba de distribución cuando el tanque y la demanda lo requieran;
10. paro automático ante fallas de presión, alta conductividad, ausencia de caudal, sobrellenado del tanque o sobrecarga eléctrica.

Esta secuencia garantiza una operación ordenada y segura, minimiza la intervención manual y reduce el riesgo de daños en los componentes principales.

4.3.11. Integración IoT para supervisión remota

La integración IoT del sistema se plantea mediante la conexión del PLC a una plataforma de monitoreo remoto capaz de recibir, almacenar y visualizar en tiempo real las principales variables del proceso. Esta plataforma permite al operador supervisar desde una interfaz digital el comportamiento de la planta, revisar tendencias históricas, detectar fallas y tomar decisiones oportunas sin necesidad de presencia permanente en campo.

Las funciones principales de la plataforma IoT comprenden:

- visualización en tiempo real de presión, caudal, conductividad, nivel y consumo energético;

- almacenamiento histórico de variables para análisis operativo;
- generación de alarmas por eventos anómalos;
- trazabilidad del desempeño del sistema;
- soporte para mantenimiento preventivo basado en condición.

La incorporación de IoT fortalece la confiabilidad del sistema de abastecimiento, porque permite detectar tempranamente desviaciones, reducir tiempos de respuesta ante fallas y optimizar la gestión del recurso hídrico. Esta parte también es consistente con el planteamiento central de la tesis, que propone una planta automatizada con monitoreo remoto.

4.3.12. Alarmas y protecciones operativas

Con el fin de proteger la planta y asegurar la calidad del agua producida, se programaron las siguientes alarmas y protecciones:

- baja presión en la alimentación del sistema;
- sobrepresión en la descarga de la bomba de alta presión;
- alta conductividad del permeado;
- pérdida de caudal en alimentación o distribución;
- nivel alto y nivel bajo en el tanque de almacenamiento;
- sobrecarga del motor de la bomba de alta presión;
- falla de comunicación con la plataforma IoT.

Ante cualquiera de estas condiciones, el sistema ejecuta acciones automáticas de seguridad, como paro de la bomba principal, cierre de válvulas, bloqueo de operación y emisión de alerta al operador. Estas protecciones incrementan la seguridad del proceso y reducen la probabilidad de interrupciones prolongadas en el suministro.

4.3.13. Componentes principales del sistema automatizado

Con base en los cálculos hidráulicos, requerimientos de operación y criterios de selección técnica, se definieron los componentes principales de la planta desalinizadora automatizada con integración IoT: sistema de captación con tubería HDPE DN 50 mm, bomba de captación, filtros de pretratamiento, bomba de alta presión de 15 kW, tren de membranas SWRO, dispositivo de recuperación de energía, tanque de almacenamiento de 25 m³, bomba de distribución, sensores de presión, caudal, conductividad, nivel y energía, PLC, tablero de control, variador de frecuencia y plataforma IoT de supervisión remota. Estos componentes se resumen en la Tabla 3 de la tesis.

4.3.14. Resultado del diseño propuesto

El diseño del sistema de automatización e integración IoT desarrollado para la planta desalinizadora permite operar el proceso de forma continua, estable y supervisada en tiempo real. La propuesta integra componentes hidráulicos, eléctricos, electrónicos y de telecomunicación orientados a mejorar la continuidad del abastecimiento de agua potable, reducir la dependencia de operación manual y fortalecer el control de calidad del agua producida.

Desde el punto de vista técnico, el sistema diseñado resulta compatible con los requerimientos de producción de 18 m³/día, con una capacidad de permeado de 2.25 m³/h, recuperación del 40% y presión de operación de 60 bar. En consecuencia, se considera que la integración de automatización e IoT constituye una solución tecnológicamente viable para optimizar el tiempo de abastecimiento de agua potable en la caleta San José.

Tabla 4: Componentes de la Planta desalinizadora automatizada con IoT

N°	Equipo	Capacidad / Caudal de diseño	Rango operativo	Material recomendado	Función	Variable controlada	Criterio de selección
1	Toma de mar + rejilla	$\geq 6 \text{ m}^3/\text{h}$	—	Inox 316 / HDPE	Retención de sólidos gruesos	—	Caudal superior al requerido ($Q_f=5.63 \text{ m}^3/\text{h}$) para evitar restricción hidráulica
2	Strainer (canastilla)	$\geq 6 \text{ m}^3/\text{h}$	—	Inox 316	Protección inicial del sistema	ΔP	Evitar ingreso de partículas que dañen bombas y filtros
3	Bomba de captación	$6 \text{ m}^3/\text{h}$	2–3 bar	Inox 316	Alimentación al pretratamiento	Caudal, presión	Dimensionada según Q_f con margen operativo
4	Filtro multimedia / discos	$6 \text{ m}^3/\text{h}$	1–3 bar	FRP / PVC industrial	Remoción de turbidez	Turbidez, ΔP	Necesario para proteger membranas en agua de mar
5	Filtro cartucho $5 \mu\text{m}$	$6 \text{ m}^3/\text{h}$	Según ΔP	Inox/PVC	Filtración fina antes de RO	ΔP	Evitar colmatación de membranas
6	Bomba dosificadora antiscalant	0.5–2 L/h	Ajustable	PVDF / PE	Prevención de incrustaciones	Dosificación	Requerida para SWRO por alta salinidad
7	Bomba dosificadora bisulfito	0.5–2 L/h	Ajustable	PVDF / PE	Eliminación de cloro	ORP / cloro	Protección química de membranas
8	Bomba alta presión (HP)	$6 \text{ m}^3/\text{h}$	60–65 bar	Inox 316 / duplex	Presurización del sistema RO	Presión	Dimensionada para presión típica SWRO
9	Variador de frecuencia (VFD)	15 kW	0–60 Hz	Industrial	Control de presión y caudal	Presión	Mejora eficiencia y estabilidad operativa
10	Pressure vessel	3 elementos 8"	$\leq 80 \text{ bar}$	Fibra epoxi	Contención de membranas	Presión	Compatible con SWRO y presión de diseño
11	Membranas SWRO	3 unidades	Rechazo $\geq 99\%$	Poliamida	Desalinización del agua	Conductividad	Número definido por $Q_p=2.25 \text{ m}^3/\text{h}$
12	Válvula control rechazo	$3,4 \text{ m}^3/\text{h}$	Alta presión	Inox 316	Regulación de presión	Presión	Mantener recuperación del 40%
13	Válvula de alivio	—	Sobrepresión	Inox 316	Protección del sistema	Presión	Seguridad operativa del tren RO
14	ERD (recuperador energía)	$3\text{--}4 \text{ m}^3/\text{h}$	Alta presión	Inox	Reducción consumo energético	Energía	Mejora eficiencia SWRO

15	Caudalímetro alimentación	0–10 m³/h	Nominal 5–7 m³/h	PVC/Inox	Medición de Qf	Caudal	Control del proceso RO
16	Caudalímetro permeado	0–5 m³/h	Nominal 2–3 m³/h	PVC	Medición de Qp	Caudal	Verificación de producción
17	Caudalímetro rechazo	0–10 m³/h	Nominal 3–4 m³/h	PVC	Medición Qb	Caudal	Control de recuperación
18	Sensor conductividad feed	—	Alta salinidad	Industrial	Control calidad entrada	Conductividad	Ajuste químico y diagnóstico
19	Sensor conductividad permeado	—	Baja salinidad	Industrial	Verificación potabilidad	Conductividad	Garantizar calidad del agua
20	Sistema UV	2,25 m³/h	Según fabricante	Inox	Desinfección final	Estado UV	Garantizar inocuidad microbiológica
21	Sistema remineralización	2,25 m³/h	Ajustable	FRP	Estabilización química	pH	Adecuar agua para consumo
22	Tanque almacenamiento	25 m³	Nivel 20–90%	PEAD / concreto	Reserva de agua potable	Nivel	Cobertura de pico de demanda matutina
23	Bomba distribución	2,5–3 m³/h	3 bar	Inox	Impulsión a viviendas	Presión red	Satisfacer demanda pico
24	PLC + tablero control	—	Industrial	IP65	Automatización y protección	Alarmas	Operación automática del sistema
25	Gateway IoT	—	WiFi/4G	Industrial	Monitoreo remoto	Datos históricos	Supervisión en tiempo real

Nota: Elaboración propia

A continuación, presentamos los esquemas de instalación de los componentes:

Esquema general de la planta desalinizadora SWRO



2. PRETRATAMIENTO



3. ÓSMOSIS INVERSA



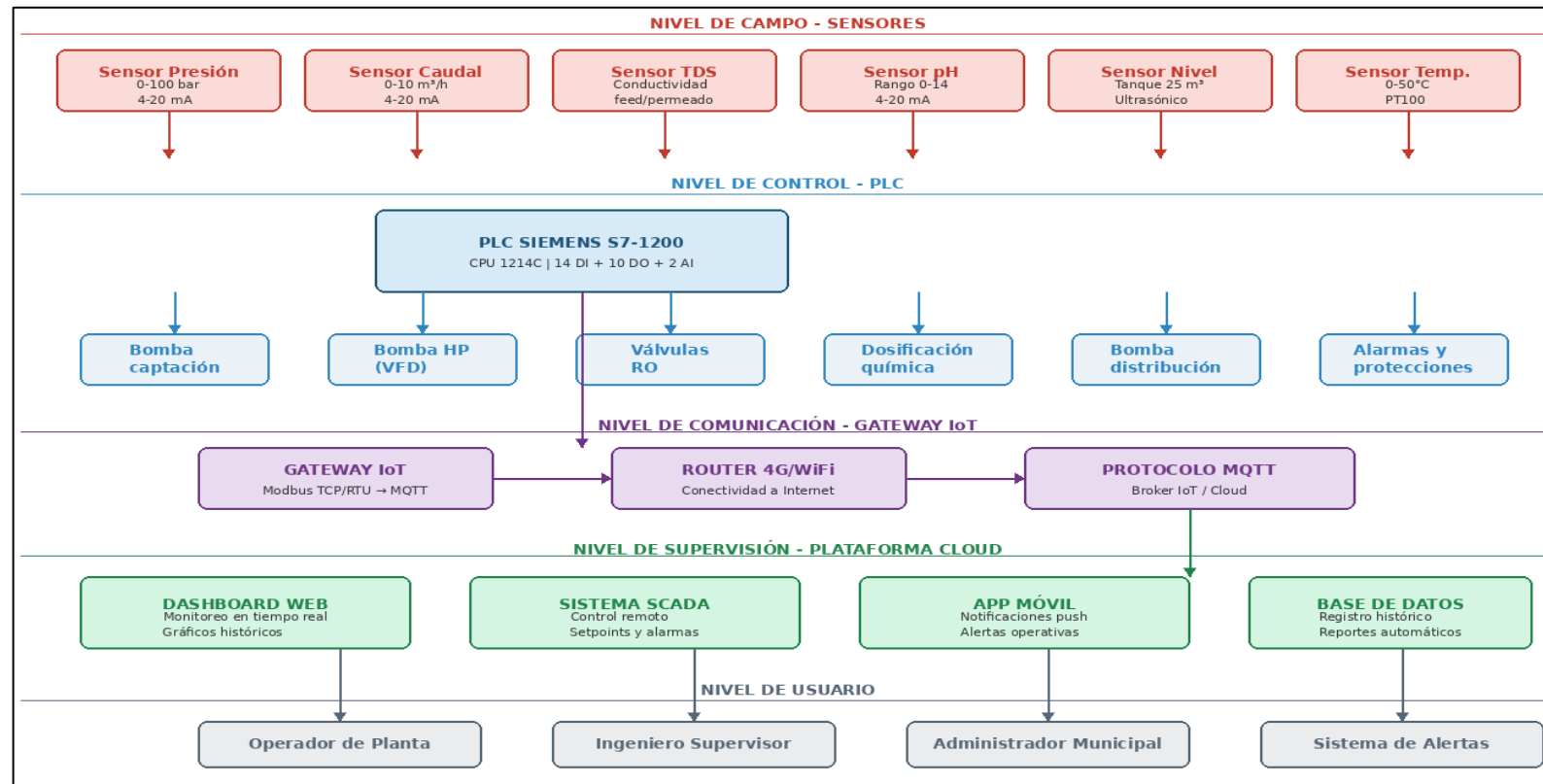
4. POSTRATAMIENTO



5. ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN



Esquema del sistema de control y automatización (IoT)

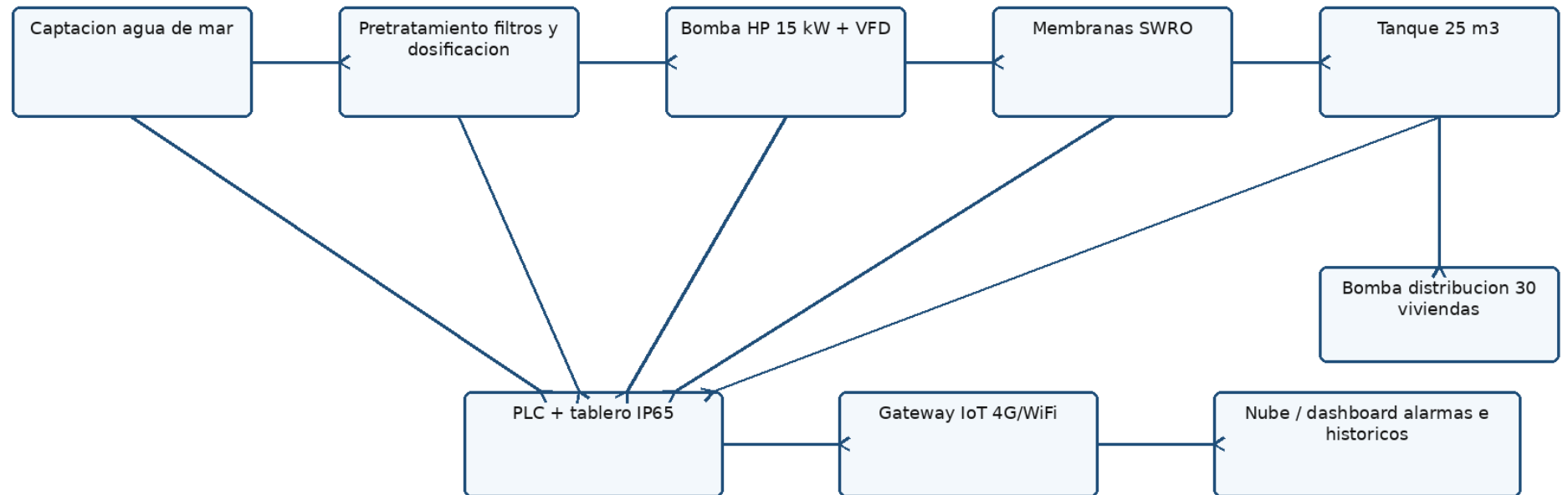


Secuencia operativa del sistema

1. El agua de mar es captada y filtrada gruesamente.
2. Se impulsa al pretratamiento (arena + cartuchos + químicos).
3. La bomba de alta presión alimenta el tren de membranas RO.
4. Se separa en:
5. Permeado → potabilización → tanque.
6. Rechazo → ERD → descarga.
7. El agua tratada se almacena y luego se bombea a las viviendas.
8. El PLC e IoT supervisan todo el proceso en tiempo real

Plano IoT-01: arquitectura de automatización y monitoreo remoto

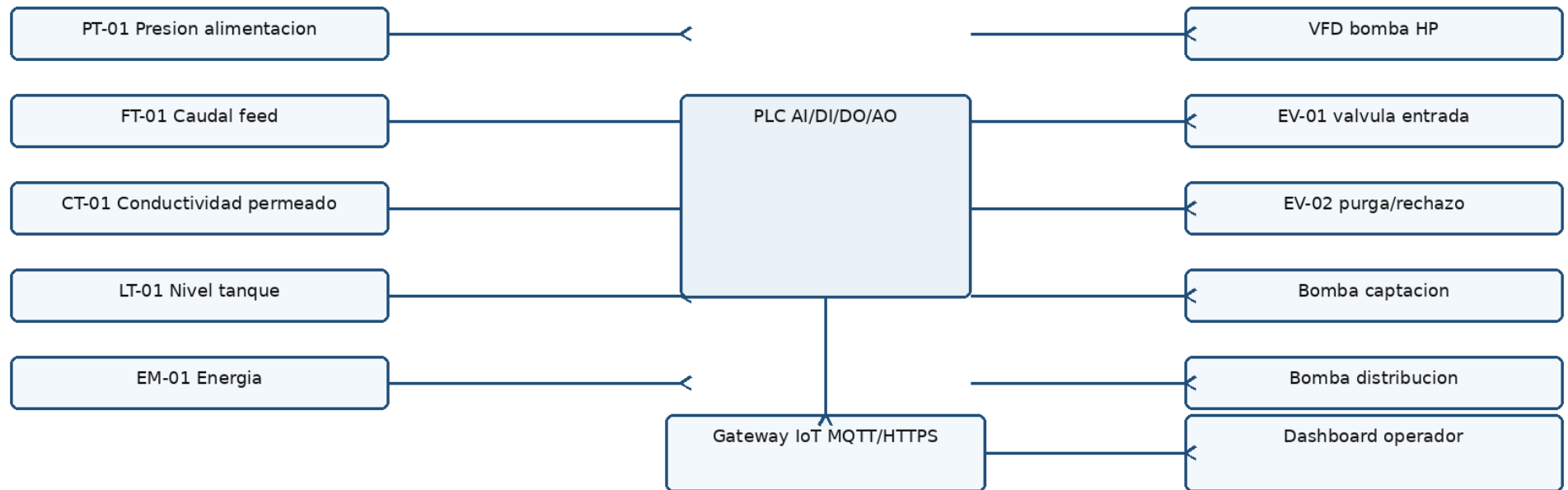
Plano IoT-01: arquitectura de automatizacion y monitoreo remoto



Nota: elaboración propia

Plano IoT-02: señales de entrada y salida del PLC.

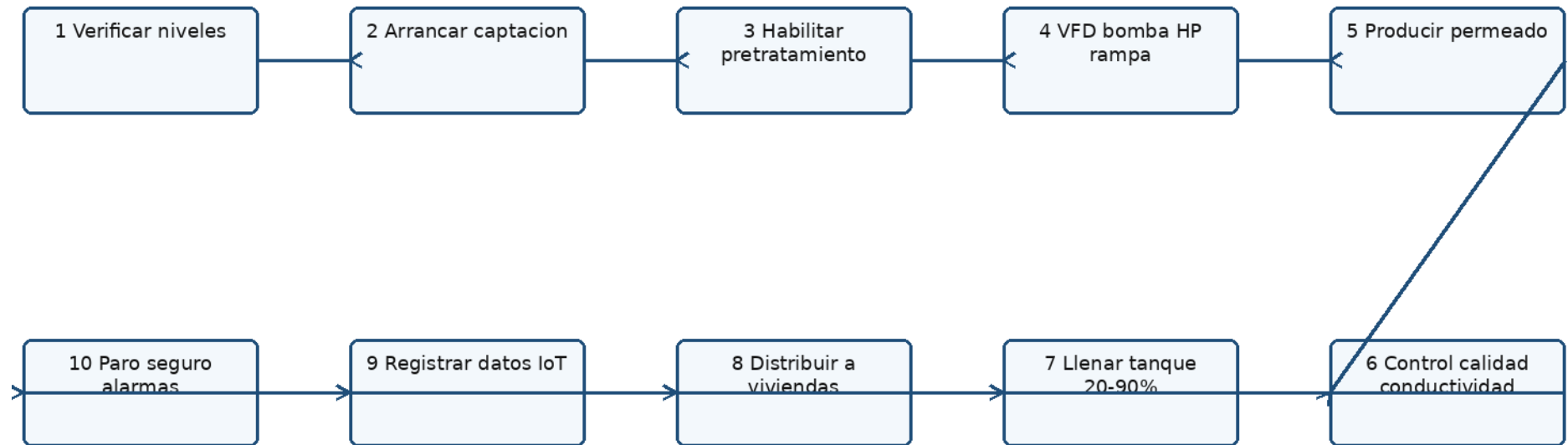
Plano IoT-02: senales de entrada/salida del PLC



Nota: elaboración propia

Plano PRG-01: secuencia de programación de equipos.

Plano PRG-01: secuencia de programacion de equipos



Nota: elaboración propia

4.4. Evaluación del impacto de la propuesta tecnológica en la reducción del tiempo de abastecimiento de agua potable mediante simulación y análisis comparativo

A continuación, procedemos a hacer una evaluación comparativa cuantitativa (antes vs. después) y una simulación simple de balance diario.

Datos base

- Población: 30 viviendas $\times$ 5 pers = 150 hab
- Demanda de diseño: 18 m³/día (incluye 20% de reserva/pérdidas)
- Situación actual (ANTES): 12 m³/día por cisterna y 2 h/día de disponibilidad
- Propuesta (DESPUÉS): planta SWRO 18 m³/día, operando 8 h/día ($Q_p = 2.25 \text{ m}^3/\text{h}$) + tanque 25 m³ + IoT

A. Análisis comparativo (impacto directo)

a) Cobertura de la demanda

- **Antes:** $12/18 = 0.667 \rightarrow 66.7\%$ de la demanda
- **Después:** $18/18 = 1.0 \rightarrow 100\%$ de la demanda

Incremento de volumen abastecido:

$$\frac{18 - 12}{12} \times 100 = 50\%$$

La propuesta aumenta el abastecimiento diario en 50%.

b) Déficit diario

- **Antes:** $18 - 12 = 6 \text{ m}^3/\text{día}$ (déficit)
- **Después:** $18 - 18 = 0 \text{ m}^3/\text{día}$

Reducción del déficit: de 6 m³/día a 0 m³/día (100% de reducción del déficit).

c) Continuidad del servicio (horas/día)

- **Antes: 2 h/día**
- **Después (con tanque + control): ~24 h/día** (disponibilidad continua)

Mejora de continuidad:

$$\Delta C_s = 24 - 2 = 22 \text{ h/día}$$

$$\% \text{mejora} = \frac{24 - 2}{2} \times 100 = 1100\%$$

Reducción del tiempo sin agua (desabastecimiento):

- **Antes: 22 h/día sin agua**
- **Después: ≈ 0 h/día sin agua**

B. Simulación y análisis de acumulación del déficit (ANTES)

Si cada día faltan **6 m³**, el desabastecimiento se **acumula**:

$$\text{Déficit acumulado}(n) = 6n \text{ m}^3$$

Tabla 5: Simulación y análisis de acumulación del déficit (ANTES)

Día	Demanda (m³)	Cisterna (m³)	Déficit diario (m³)	Déficit acumulado (m³)
1	18	12	6	6
3	54	36	18	18
7	126	84	42	42
30	540	360	180	180

Nota: Elaboración propia

Interpretación: con el esquema actual, aunque llegue la cisterna todos los días, queda un faltante estructural que obliga a racionamiento, almacenamiento inseguro o días sin cubrir higiene/consumo.

C. Simulación operativa (DESPUÉS) con tanque de 25 m³

Con la planta:

- Producción diaria = **18 m³/día**
- Consumo diario = **18 m³/día**
- El tanque **amortigua el pico de mañana**, evitando que la población dependa de “solo 2 horas”.

Balance diario del tanque:

$$V_{t+1} = V_t + 18 - 18 = V_t$$

O sea, **en régimen**, el nivel del tanque se mantiene (sube durante horas de operación y baja en la mañana), pero **sin llegar a cero** si se trabaja con nivel operativo razonable.

D. Resumen de impacto

Tabla 6: Resumen de impacto

Indicador	Antes (cisterna)	Después (SWRO + IoT)	Impacto
Volumen abastecido (m³/día)	12	18	+50%
Cobertura de demanda	66.7%	100%	+33.3 puntos
Déficit (m³/día)	6	0	-100%
Continuidad (h/día)	2	~24	+22 h/día
Tiempo sin agua (h/día)	22	~0	-22 h/día

Nota: Elaboración propia

Mediante simulación de balance hídrico diario y comparación de escenarios, se determinó que el abastecimiento actual a las 30 viviendas a la caleta San José (12 m³/día mediante cisterna, con disponibilidad aproximada de 2 h/día) cubre el 66.7% de la demanda de diseño (18 m³/día), generando un déficit de 6 m³/día que se acumula con el tiempo. Con la implementación de la planta desalinizadora SWRO automatizada e integrada con IoT (producción 18 m³/día en 8 h/día, con

almacenamiento de 25 m³), el déficit se reduce a 0 m³/día y la continuidad del servicio se incrementa de 2 h/día a disponibilidad continua (~24 h/día) gracias al tanque y al control en tiempo real, evidenciando una mejora sustancial en el tiempo de abastecimiento y en la continuidad del suministro.

4.5. Evaluación económica de la instalación de la planta desalinizadora automatizada mediante tecnología IoT

Para realizar la evaluación económica de la instalación de la planta desalinizadora automatizada mediante tecnología IoT, primero determinamos el presupuesto.

A. Presupuesto por partidas

a. Obras civiles

Tabla 7: Obras civiles

Ítem	Unidad	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Parcial (S/.)
Base de concreto equipos	m ²	25	200	5 000
Caseta técnica	unidad	1	7 000	7 000
Canaletas y drenajes	lote	1	3 000	3 000
Subtotal				15 000

Nota: Elaboración propia

b. Sistema de captación y pretratamiento

Tabla 8: Sistema de captación y pretratamiento

Equipo	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial (S/.)
Rejilla y strainer	unidad	1	3 000	3 000
Bomba captación	unidad	1	6 000	6 000
Filtro multimedia	unidad	1	8 000	8 000
Filtro cartuchos 5 µm	unidad	1	4 000	4 000
Dosificación química	lote	1	10 000	10 000
Subtotal				31 000

Nota: Elaboración propia

c. Sistema de ósmosis inversa

Tabla 9: Sistema de ósmosis inversa

Equipo	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial (S/.)
Bomba alta presión	unidad	1	18 000	18 000
Membranas SWRO	unidad	3	4 300	12 900
Pressure vessel	unidad	1	7 800	7 800
Válvulas alta presión	lote	1	6 500	6 500
ERD recuperador energía	unidad	1	35 000	35 000
Subtotal				82 000

Nota: Elaboración propia

d. Postratamiento y almacenamiento

Tabla 10: Postratamiento y almacenamiento

Equipo	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial (S/.)
Sistema UV	unidad	1	12 700	12 700
Remineralización	unidad	1	4 000	4 000
Tanque 25 m ³	unidad	1	12 000	12 000
Bomba distribución	unidad	1	3 000	3 000
Subtotal				31 700

Nota: Elaboración propia

e. Automatización, control e IoT

Tabla 11: Automatización, control e IoT

Equipo	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial (S/.)
PLC industrial	unidad	1	6 000	6 000
Sensores y transmisores	lote	1	5 000	5 000
Gateway IoT	unidad	1	2 000	2 000
Tablero eléctrico	unidad	1	3 000	3 000
Subtotal				16 000

Nota: Elaboración propia

B. Resumen general de inversión

Los costos se sustentan en metrados de diseño, precios referenciales de equipos comerciales para ósmosis inversa de agua de mar, materiales resistentes a ambiente salino, costos locales de instalación electromecánica y un margen de contingencia del 10%. Los valores deben actualizarse mediante cotizaciones finales antes de la ejecución.

Tabla 12: Resumen general de inversión

Partida	Monto (S/)	Criterio de sustento
Obras civiles	15 000	Base de concreto, caseta técnica, canaletas y drenajes según metrados mínimos de montaje.
Captación y pretratamiento	31 000	Bomba de captación, strainer, filtros, cartuchos y dosificación química para 5.63 m³/h.
Sistema de ósmosis inversa	82 000	Bomba HP 15 kW, tres membranas SWRO, pressure vessel, válvulas de alta presión y ERD.
Postratamiento y almacenamiento	31 700	UV, remineralización, tanque de 25 m³ y bomba de distribución.
Automatización, control e IoT	16 000	PLC, sensores, transmisores, gateway, tablero IP65 y comunicaciones.
Instalación electromecánica	20 000	Montaje, cableado, pruebas hidráulicas, puesta en marcha y calibración.
Contingencia 10%	19 570	Reserva por variación de precios, transporte, accesorios menores y ajustes de obra.
Inversión total	215 270	CAPEX base para evaluación económica.

Nota: Elaboración propia

C. Costos de operación estimados (anuales)

Tabla 13: Costos de operación estimados (anuales)

Concepto	Base de cálculo	Costo anual (S/)
Energía eléctrica	Producción 6 570 m³/año; consumo específico estimado 3.7 kWh/m³; tarifa referencial S/ 0.75/kWh	18 400
Químicos	Antiscalant, bisulfito y ajuste de pH para operación diaria de 18 m³/día	6 000
Filtros y repuestos	Cartuchos, sellos, limpieza química y repuestos menores	5 000
Mantenimiento	Mantenimiento preventivo de bombas, sensores, VFD, PLC y calibraciones	8 000
Total OPEX	Suma de costos anuales de operación	37 400

Nota: Elaboración propia

La producción anual es $18 \text{ m}^3/\text{día} \times 365 \text{ días} = 6\,570 \text{ m}^3/\text{año}$. Por tanto, el costo unitario de producción es: $37\,400 / 6\,570 = \text{S/ } 5.69 \text{ por m}^3$. Este valor es menor que el costo referencial del abastecimiento por cisterna, estimado en S/ 12.50 por m³.

D. Costo unitario del agua producida

Producción anual:

$$18 \text{ m}^3/\text{día} \times 365 = 6570 \text{ m}^3/\text{año}$$

Costo unitario:

$$\frac{37,400}{6570} = 5.69 \text{ S/./m}^3$$

Interpretación técnica:

- La inversión aproximada de la planta es S/ 215,000, adecuada para una solución rural costera.
- El costo de producción del agua ($\approx$ S/ 5.69/m³) es competitivo frente al transporte por cisterna.
- La automatización e IoT reducen costos operativos y pérdidas por fallas.
- El sistema garantiza continuidad del servicio y eliminación del déficit hídrico.

E. Evaluación Económica

a. Datos económicos del proyecto

Inversión inicial (CAPEX)

- Inversión total estimada: S/ 215,270

Producción de agua

- Producción: 18 m³/día
- Producción anual:

$$18 \times 365 = 6570 \text{ m}^3/\text{año}$$

b. Costos operativos (OPEX)

- Energía, químicos, mantenimiento:
- S/ 37,400 / año

c. Costo actual del agua por cisterna

Una cisterna rural suele costar entre:

- S/ 120 – 180 por 10–12 m³

Tomamos valor medio conservador:

- S/ 150 por 12 m³

Costo por m³:

$$150/12 = 12.5 \text{ S./m}^3$$

Costo anual actual:

$$12 \text{ m}^3/\text{día} \times 365 \times 12.5 = 54,750 \text{ S./año}$$

d. Costo anual con la planta desalinizadora

Producción anual:

$$6570 \text{ m}^3$$

Costo unitario:

$$37,400/6570 = 5.69 \text{ S./m}^3$$

Costo anual total:

- S/ 37,400/año

e. Ahorro anual del proyecto

$$\text{Ahorro} = 54,750 - 37,400$$

$$\text{Ahorro} = 17,350 \text{ S./año}$$

f. Periodo de recuperación (PAYBACK)

$$\text{Payback} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro anual}}$$

$$\text{Payback} = \frac{215,270}{44,725}$$

$$\text{Payback} \approx 12.4 \text{ años}$$

g. Evaluación VAN

Supuestos típicos de proyectos de agua:

- Vida útil: 20 años
- Tasa de descuento: 10%

Flujo anual:

- Ahorro = S/ 44,725/año

Fórmula VAN:

$$VAN = -I + \sum \frac{F}{(1+r)^t}$$

Resultado aproximado:

$$VAN \approx +S/165,499$$

h. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Resultado aproximado:

$$TIR \approx 20.3\%$$

i. Interpretación económica

Tabla 14: Resumen de la evaluación económica

Indicador	Resultado
Inversión	S/ 215,270
Ahorro anual	S/ 44 725
Payback	4.8 años
VAN	S/ +165 499
TIR	20.3%

Nota: Elaboración propia

La evaluación económica resulta favorable, debido a que el VAN es positivo y la TIR de 20.3% supera la tasa de descuento adoptada de 10%. Además, el periodo

de recuperación de 4.8 años es razonable frente a una vida útil de 20 años para el sistema desalinizador, siempre que se mantenga el programa de mantenimiento preventivo y reposición de consumibles.

4.6. Levantamiento de observaciones: presupuesto, demanda, costos, planos IoT y programación

Con la finalidad de completar la sustentación técnica y económica de la propuesta, y en atención a las observaciones formuladas por el jurado, se desarrolla a continuación el presupuesto detallado, la evaluación económica, la proyección de demanda, el sustento de costos y los planos funcionales del sistema IoT con su lógica de programación de equipos.

4.6.1. Proyección de la demanda de agua potable

La proyección de demanda se calculó con el método geométrico, considerando una población base de 150 habitantes, una tasa de crecimiento anual de 1.5% según datos del INEI (censo 2007-2017) para la provincia de Lambayeque, una dotación de 100 L/hab·día y un factor de pérdidas y reserva del 20%. La expresión empleada fue:

$$P_n = P_0 \times (1 + r)^n \quad ; \quad \text{Demanda} = P_n \times 100 \times 1.20 / 1000$$

Tabla 15: Proyección de demanda de agua potable para San José

Año	Horizonte	Población proyectada	Demanda base (m³/día)	Demanda con reserva (m³/día)	Horas de operación
2026	0 años	150 hab	15.00	18.00	8.0 h/día
2031	5 años	162 hab	16.16	19.39	8.6 h/día
2036	10 años	174 hab	17.41	20.89	9.3 h/día
2041	15 años	188 hab	18.75	22.50	10.0 h/día
2046	20 años	202 hab	20.20	24.24	10.8 h/día

Nota: Elaboración propia con base en la tasa de crecimiento del INEI.

La planta diseñada para 2.25 m³/h cubre la demanda actual operando 8 h/día. Para el horizonte de 20 años, no se requiere cambiar el tren de membranas si se incrementa progresivamente el tiempo de operación hasta 10.8 h/día; sin embargo, se recomienda prever la ampliación modular de membranas y reserva eléctrica si

la población supera la proyección adoptada.

4.6.2. Presupuesto detallado y sustento de costos

Los costos se sustentan en metrados de diseño, precios referenciales de equipos comerciales para ósmosis inversa de agua de mar, materiales resistentes al ambiente salino, costos locales de instalación electromecánica y un margen de contingencia del 10%. Los valores deben actualizarse mediante cotizaciones finales antes de la ejecución.

Tabla 16: Sustento del presupuesto de inversión

Partida	Monto (S/)	Criterio de sustento
Obras civiles	15 000	Base de concreto, caseta técnica, canaletas y drenajes según metrados mínimos de montaje.
Captación y pretratamiento	31 000	Bomba de captación, strainer, filtros, cartuchos y dosificación química para 5.63 m³/h.
Sistema de ósmosis inversa	82 000	Bomba HP 15 kW, tres membranas SWRO, pressure vessel, válvulas de alta presión y ERD.
Postratamiento y almacenamiento	31 700	UV, remineralización, tanque de 25 m³ y bomba de distribución.
Automatización, control e IoT	16 000	PLC, sensores, transmisores, gateway, tablero IP65 y comunicaciones.
Instalación electromecánica	20 000	Montaje, cableado, pruebas hidráulicas, puesta en marcha y calibración.
Contingencia 10%	19 570	Reserva por variación de precios, transporte, accesorios menores y ajustes de obra.
Inversión total	215 270	CAPEX base para la evaluación económica.

Nota: Elaboración propia.

4.6.3. Costos de operación y costo unitario del agua

Tabla 17: Sustento de costos de operación

Concepto	Base de cálculo	Costo anual (S/)
Energía eléctrica	Producción 6 570 m³/año; consumo específico estimado 3.7 kWh/m³; tarifa referencial S/ 0.75/kWh.	18 400
Químicos	Antiscalant, bisulfito y ajuste de pH para operación diaria de 18 m³/día.	6 000
Filtros y repuestos	Cartuchos, sellos, limpieza química y repuestos menores.	5 000
Mantenimiento	Mantenimiento preventivo de bombas, sensores, VFD, PLC y calibraciones.	8 000
Total OPEX	Suma de costos anuales de operación.	37 400

Nota: Elaboración propia.

La producción anual es $18 \text{ m}^3/\text{día} \times 365 \text{ días} = 6\,570 \text{ m}^3/\text{año}$. Por tanto, el costo unitario de producción es $37\,400 / 6\,570 = \text{S/ } 5.69 \text{ por m}^3$. Este valor es menor que el costo referencial del abastecimiento por cisterna, estimado en S/ 12.50 por m³.

4.6.4. Evaluación económica actualizada

Tabla 18: Evaluación económica actualizada de la propuesta

Indicador	Cálculo	Resultado
Costo anual equivalente por cisterna	$6\,570 \text{ m}^3/\text{año} \times \text{S}/12.50/\text{m}^3$	S/ 82 125
Costo anual con planta	OPEX anual	S/ 37 400
Ahorro neto anual	$82\,125 - 37\,400$	S/ 44 725
Periodo de recuperación (Payback)	$215\,270 / 44\,725$	4.8 años
Valor Actual Neto (VAN)	$i = 10\%; n = 20 \text{ años}; \text{flujo anual S}/44\,725$	+ S/ 165 499
Tasa Interna de Retorno (TIR)	Tasa que hace VAN = 0	20.3 %
Relación Beneficio/Costo (B/C)	VP beneficios / inversión	1.77

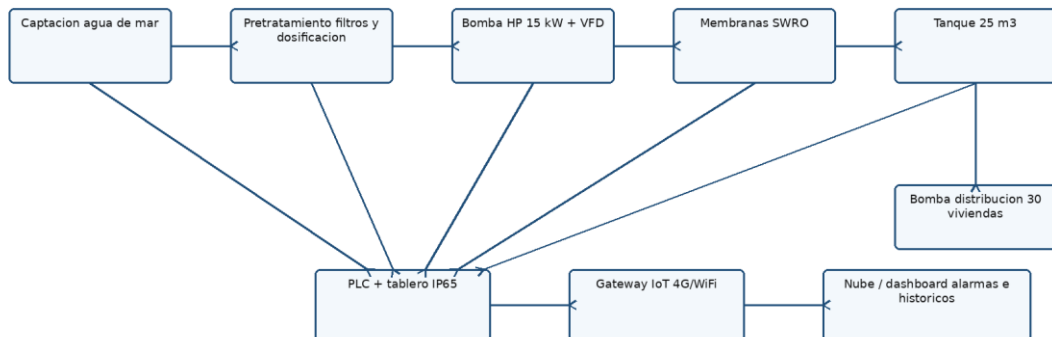
Nota: Elaboración propia.

La evaluación económica resulta favorable, debido a que el VAN es positivo y la TIR de 20.3% supera la tasa de descuento adoptada del 10%. Además, el periodo de recuperación de 4.8 años es razonable frente a una vida útil de 20 años del sistema desalinizador, siempre que se mantenga el programa de mantenimiento preventivo y la reposición de consumibles. La relación beneficio/costo de 1.77 confirma la rentabilidad del proyecto.

4.6.5. Planos funcionales IoT y arquitectura de programación

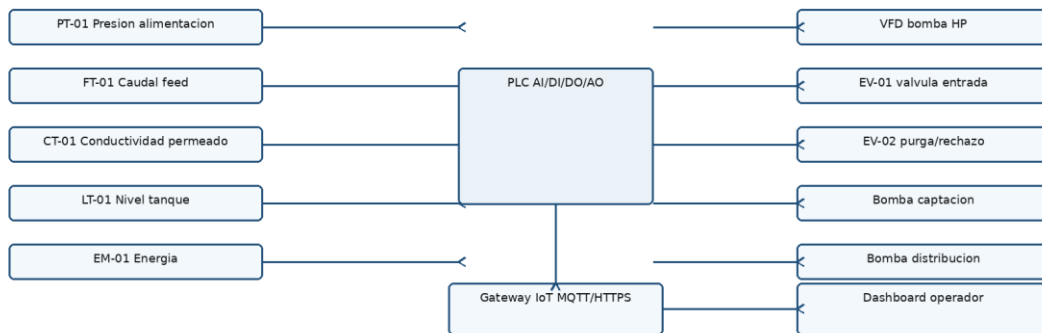
Los planos funcionales se plantean a nivel de ingeniería básica y muestran la relación entre el proceso hidráulico, los sensores, el PLC, los actuadores, las comunicaciones IoT y la supervisión remota. Estos planos sirven como base para la elaboración posterior de los planos CAD de detalle, cableado, borneras y montaje de tablero.

Plano IoT-01: arquitectura de automatizacion y monitoreo remoto



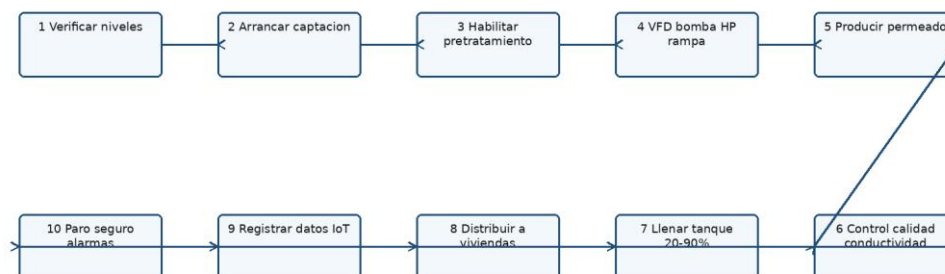
Plano IoT-01: arquitectura de automatización y monitoreo remoto

Plano IoT-02: señales de entrada/salida del PLC



Plano IoT-02: señales de entrada y salida del PLC

Plano PRG-01: secuencia de programacion de equipos



Plano PRG-01: secuencia de programación de equipos

4.6.6. Programación de equipos y lógica de control

La programación de equipos del sistema desalinizador se plantea bajo una arquitectura automática gobernada por PLC, con monitoreo remoto IoT, operación manual de respaldo y enclavamientos de seguridad para proteger bombas, membranas, sensores y la calidad del agua producida.

Tabla 19: Matriz de programación de equipos del sistema automatizado

Equipo / señal	Tipo PLC	Condición de activación	Acción programada
Bomba de captación	DO	Nivel tanque < 90%, disponibilidad de toma y sin alarma de baja succión.	Arranque previo al pretratamiento y paro por falta de caudal.
Dosificación química	DO/AO	Bomba de captación activa y caudal feed > mínimo.	Dosificación proporcional al caudal de alimentación.
VFD bomba HP	AO/DO	Presión de alimentación normal, filtros sin alta caída y válvulas abiertas.	Rampa de 0 a consigna; control de presión de 60 bar.
Electroválvula de rechazo	DO	Arranque RO y control de recuperación del 40%.	Apertura modulada por etapas para estabilizar presión y purga.
Sistema UV	DO/DI	Caudal de permeado activo y conductividad dentro de rango.	Encendido automático antes del envío al tanque.
Bomba de distribución	DO	Nivel tanque > 20% y demanda en red.	Arranque/parada por presión de red y nivel mínimo.
Gateway IoT	Com.	PLC en RUN.	Envío de datos cada 60 s y alarmas inmediatas por evento crítico.

Nota: Elaboración propia.

La lógica se programa en modo automático con enclavamientos de seguridad. Ante baja presión de alimentación, sobrepresión en membranas, alta conductividad del permeado, nivel bajo del tanque o falla de comunicación, el PLC ejecuta un paro seguro, registra el evento y envía una alarma al operador mediante la plataforma IoT.

4.7. Ingeniería de detalle del sistema de control: tablero, HMI y programación del PLC

En atención a las observaciones formuladas, se desarrolla la ingeniería de detalle del sistema de control, comprendiendo el plano eléctrico del tablero, el esquema de distribución física de los equipos en el gabinete, la configuración de las pantallas

de la interfaz hombre-máquina (HMI) y la programación del PLC Siemens S7-1200 en lenguaje Ladder (KOP).

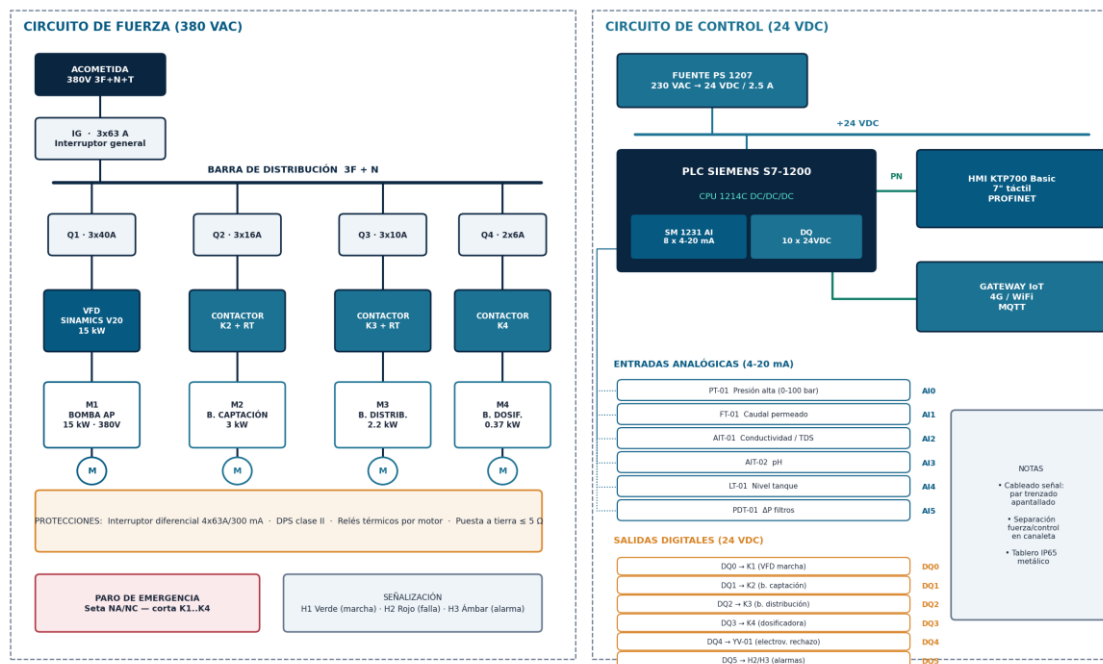
4.7.1. Plano eléctrico del tablero de control (TC-01)

El tablero TC-01 concentra la alimentación, protección, maniobra y control de los equipos electromecánicos de la planta. Se alimenta en 380 VAC trifásico con neutro y tierra, y distribuye internamente un circuito de control en 24 VDC. El circuito de fuerza cuenta con interruptor general de 63 A, interruptor diferencial de 4×63 A / 300 mA, descargador de sobretensión (DPS) clase II y salidas protegidas de forma individual: Q1 (3×40 A) para el variador de la bomba de alta presión; Q2 (3×16 A) para la bomba de captación; Q3 (3×10 A) para la bomba de distribución; y Q4 (2×6 A) para la bomba dosificadora. Cada motor dispone de contactor y relé térmico, salvo la bomba de alta presión, cuya protección se gestiona desde el variador de frecuencia.

El circuito de control se alimenta mediante una fuente Siemens PS 1207 (230 VAC a 24 VDC / 2.5 A) y comprende el PLC S7-1200 CPU 1214C, el módulo de entradas analógicas SM 1231 (8 canales de 4-20 mA), el módulo de salidas digitales SM 1222, la pantalla HMI y el gateway IoT, comunicados mediante PROFINET. El paro de emergencia, de tipo seta con contacto normalmente cerrado, corta la alimentación de todos los contactores.

PLANO ELÉCTRICO DEL TABLERO DE CONTROL — TC-01

Planta desalinizadora SWRO · San José – Lambayeque · Alimentación 380 VAC 3F+N+T, 60 Hz



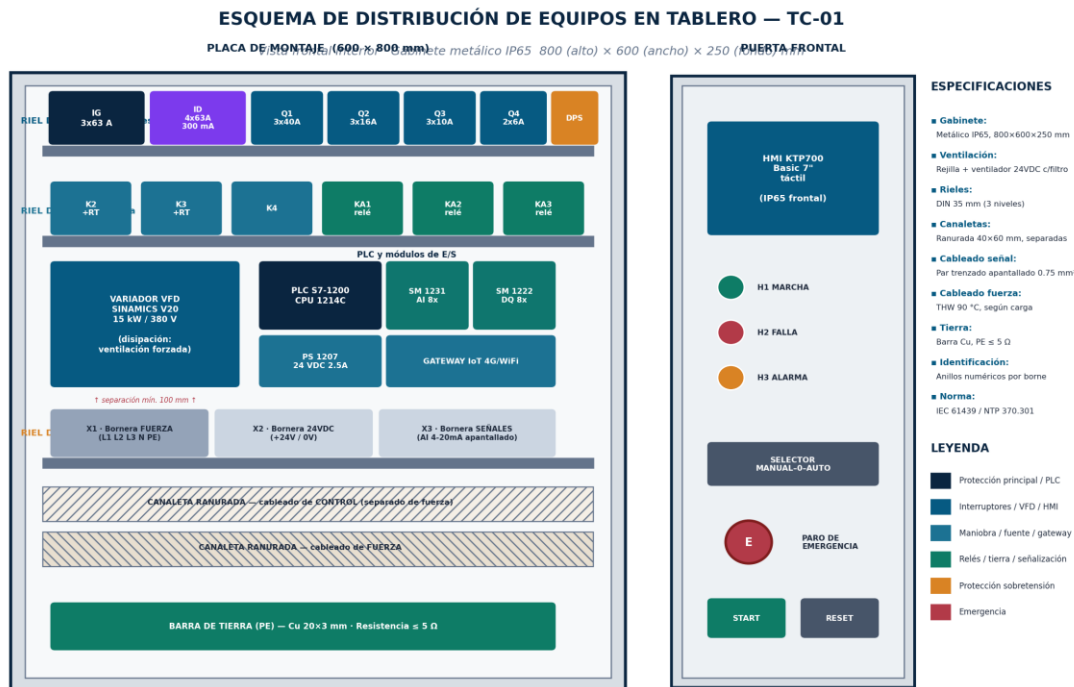
Plano TC-01: Diagrama eléctrico del tablero de control

4.7.2. Esquema de distribución de equipos en el tablero

El gabinete metálico con grado de protección IP65 y dimensiones de 800 × 600 × 250 mm aloja los componentes distribuidos en tres rieles DIN. El riel superior contiene las protecciones; el riel intermedio, los elementos de maniobra (contactores, relés térmicos y auxiliares); y el riel inferior, las borneras separadas por tipo de circuito. En la zona central se ubican el variador de frecuencia (con separación mínima de 100 mm por disipación térmica), el PLC, los módulos de entrada/salida, la fuente de 24 VDC y el gateway IoT.

Se establece separación física entre el cableado de fuerza y el de control mediante canaletas independientes, con el fin de evitar interferencias electromagnéticas sobre las señales analógicas de 4-20 mA. La barra de tierra de cobre se instala en la parte inferior, con una resistencia de puesta a tierra menor o igual a 5 Ω . En la puerta frontal se disponen la pantalla HMI, los pilotos de señalización, el selector

manual-cero-automático, los pulsadores de arranque y reset, y la seta de emergencia.



Distribución física de equipos en el tablero TC-01

4.7.3. Configuración de las pantallas HMI

La interfaz de operador se implementa en la pantalla táctil Siemens KTP700 Basic de 7 pulgadas (800 × 480 píxeles), programada mediante el software WinCC Basic integrado en TIA Portal. Se configuran cuatro pantallas principales, accesibles mediante una barra de navegación táctil inferior, con tres niveles de acceso diferenciados.

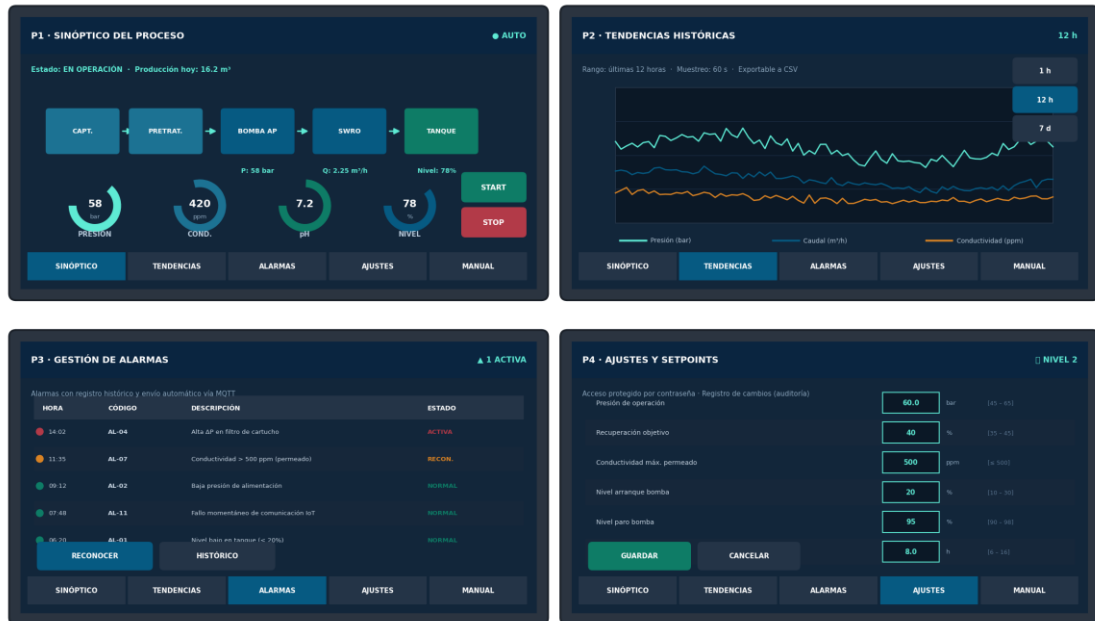
Tabla 20: Estructura de pantallas de la interfaz HMI

Pantalla	Contenido	Nivel de acceso
P1 · Sinóptico	Esquema del proceso con valores en tiempo real, indicadores tipo gauge (presión, conductividad, pH y nivel) y botones de arranque y paro.	Nivel 1 (operador)
P2 · Tendencias	Curvas históricas de presión, caudal y conductividad, con rangos seleccionables de 1 h, 12 h y 7 días. Exportable a CSV.	Nivel 1 (operador)
P3 · Alarmas	Listado de alarmas activas e históricas, con código, descripción, hora y estado. Función de reconocimiento.	Nivel 1 (operador)
P4 · Ajustes	Modificación de setpoints de operación (presión, recuperación, límites de calidad y niveles de tanque), con rangos permitidos.	Nivel 2 (supervisor)

Nota: Elaboración propia.

CONFIGURACIÓN DE PANTALLAS HMI — KTP700 BASIC 7"

Interfaz de operador · Software WinCC Basic (TIA Portal) · Resolución 800×480 px



Navegación entre pantallas mediante barra inferior táctil. Todas las pantallas comparten la cabecera de estado y el indicador de modo (AUTO/MANUAL).

Niveles de acceso: Nivel 1 (operador: visualización y arranque/paro) · Nivel 2 (supervisor: modificación de setpoints) · Nivel 3 (mantenimiento: forzado de E/S)

Configuración de pantallas de la interfaz HMI KTP700 Basic

4.7.4. Programación del PLC Siemens S7-1200

El programa de control se desarrolla en TIA Portal V17 empleando el lenguaje Ladder (KOP), estructurado en un bloque de organización cíclico OB1. La lógica implementa el arranque secuencial de equipos, el control de presión mediante un lazo PID, los enclavamientos de seguridad y la verificación de la calidad del agua producida.

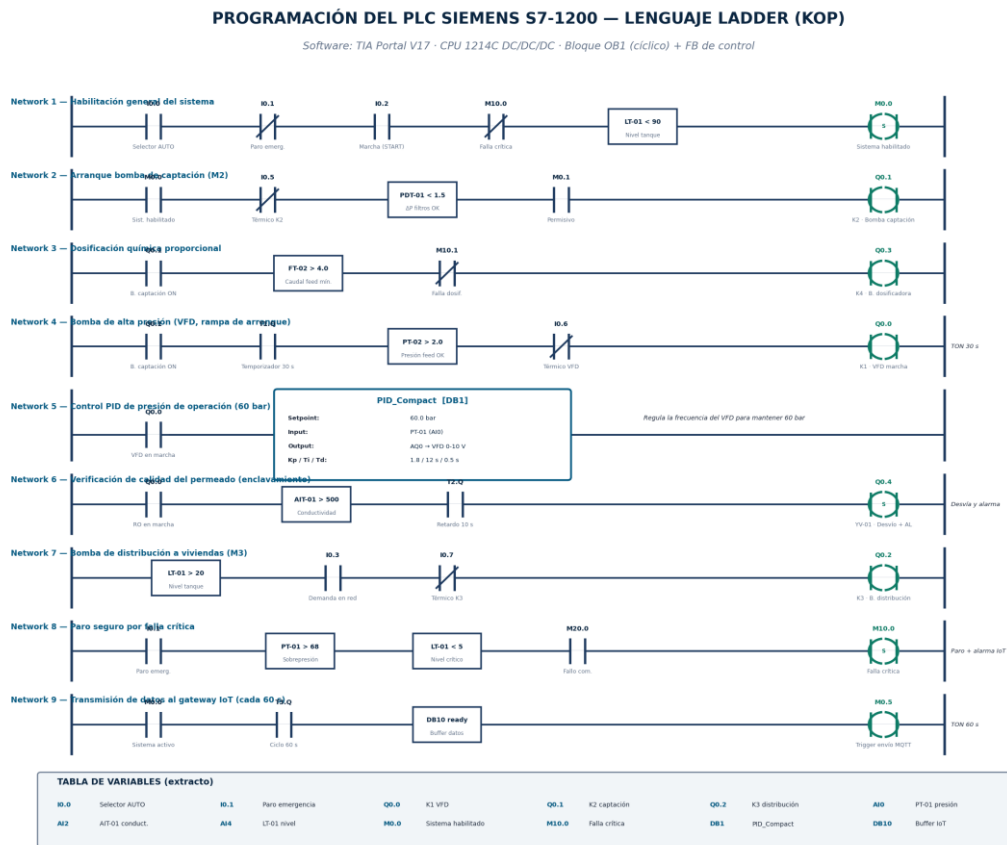
Tabla 21: Estructura del programa de control del PLC S7-1200

Network	Función	Salida
Network 1	Habilitación general: selector en automático, paro de emergencia liberado, pulsador de marcha y ausencia de falla crítica.	M0.0
Network 2	Arranque de la bomba de captación, previa verificación de la caída de presión en los filtros.	Q0.1 · K2
Network 3	Dosificación química proporcional al caudal de alimentación.	Q0.3 · K4
Network 4	Arranque de la bomba de alta presión mediante variador, con temporizador de 30 s tras la captación.	Q0.0 · K1
Network 5	Control PID de la presión de operación, con consigna de 60 bar y salida analógica al variador.	AQ0 (0-10 V)
Network 6	Verificación de la conductividad del permeado; si supera 500 ppm, desvía el agua y activa alarma.	Q0.4 · YV-01
Network 7	Arranque de la bomba de distribución según nivel del tanque y demanda de la red.	Q0.2 · K3

Network 8	Paro seguro ante falla crítica: emergencia, sobrepresión, nivel crítico o fallo de comunicación.	M10.0
Network 9	Transmisión de datos al gateway IoT cada 60 segundos mediante protocolo MQTT.	M0.5

Nota: Elaboración propia.

El control de la presión de operación se implementa mediante el bloque PID_Compact de la librería estándar de TIA Portal, con los siguientes parámetros: consigna de 60 bar; variable de proceso tomada del transmisor de presión PT-01 (entrada analógica AI0); salida hacia el variador de frecuencia (salida analógica AQ0, 0-10 V); y constantes de sintonización $K_p = 1.8$, $T_i = 12$ s y $T_d = 0.5$ s, obtenidas mediante el autoajuste del bloque.



Programación del PLC S7-1200 en lenguaje Ladder (KOP)

El programa incorpora enclavamientos de seguridad que ejecutan un paro seguro del sistema y generan la alarma correspondiente ante: activación del paro de emergencia, sobrepresión en el tren de membranas (superior a 68 bar), nivel crítico

en el tanque (inferior al 5%), conductividad del permeado superior a 500 ppm de forma sostenida, disparo de relé térmico o falla del variador, y pérdida de comunicación con el gateway IoT. En este último caso, la planta continúa operando de forma local y autónoma, dado que el control reside en el PLC.

4.7.5. Subestación eléctrica y dimensionamiento del transformador

El suministro eléctrico de la planta se realiza mediante una subestación de distribución (SED) tipo poste, que reduce la tensión de la red pública de media tensión a la tensión de utilización de los equipos. En la zona de la caleta San José, la red de distribución de la concesionaria opera en 22.9 kV trifásico, tensión estándar del sistema de distribución rural en el departamento de Lambayeque.

a) Cálculo de la máxima demanda

La máxima demanda se determina a partir de las cargas instaladas, aplicando a cada una su factor de potencia ($\cos \phi$) y su factor de simultaneidad (FS), conforme al Código Nacional de Electricidad. La potencia aparente de cada carga se obtiene mediante:

$$S = P / \cos \phi \quad ; \quad \text{Demanda} = \sum (S \times FS)$$

Tabla 22: Cálculo de la máxima demanda eléctrica de la planta

Carga	Potencia (kW)	$\cos \phi$	FS	Demanda (kVA)
Bomba de alta presión (SWRO)	15.00	0.85	1.00	17.65
Bomba de captación	3.00	0.82	1.00	3.66
Bomba de distribución	2.20	0.82	0.80	2.15
Bomba dosificadora	0.37	0.80	1.00	0.46
Sistema UV y postratamiento	1.00	0.90	1.00	1.11
Tablero de control, PLC, HMI e IoT	0.50	0.95	1.00	0.53
Iluminación y tomacorrientes	1.50	0.95	0.70	1.11
MÁXIMA DEMANDA TOTAL	23.57	—	—	26.66

Nota: Elaboración propia.

b) Selección del transformador

A la máxima demanda calculada de 26.66 kVA se le aplica un factor de reserva y crecimiento del 25%, con el fin de contemplar la ampliación de la capacidad de la

planta prevista en la proyección de demanda a 20 años (incremento de las horas de operación y eventual ampliación modular de membranas):

$$\text{Potencia de diseño} = 26.66 \text{ kVA} \times 1.25 = 33.32 \text{ kVA}$$

De la serie de potencias comerciales normalizadas de transformadores de distribución (10, 15, 25, 37.5, 50, 75 kVA), se adopta el valor inmediato superior:

TRANSFORMADOR SELECCIONADO: 37.5 kVA · 22.9 / 0.38-0.22 kV · Dyn5

El factor de utilización resultante es de 71.1% (26.66 kVA sobre 37.5 kVA), valor que se encuentra dentro del rango óptimo recomendado de 60% a 80%. Un factor menor implicaría un sobredimensionamiento antieconómico, mientras que uno mayor no dejaría margen para el crecimiento de la demanda.

c) Protecciones y conductores

Tabla 23: Protecciones y conductores de la subestación

Parámetro	Valor calculado	Selección comercial
Corriente nominal en MT (22.9 kV)	0.95 A	—
Fusible tipo K ($2.5 \times I_n$)	2.4 A	3 A tipo K
Pararrayos (descargador)	—	21 kV · 10 kA (ZnO)
Corriente nominal en BT (380 V)	57.0 A	—
Interruptor general BT ($1.25 \times I_n$)	71.2 A	3 × 100 A · 10 kA
Interruptor diferencial	—	4 × 63 A / 300 mA
Conductor BT (L = 15 m)	3.4 mm ² mín.	YYY 3-1×50 + 1×25 mm ²
Caída de tensión en el alimentador	0.4 %	Norma: ≤ 2 %
Puesta a tierra (SED / BT)	—	≤ 25 Ω / ≤ 5 Ω

Nota: Elaboración propia. Valores conformes al Código Nacional de Electricidad (Suministro y Utilización).

El diagrama unifilar general del sistema, que abarca desde la red pública de media tensión hasta las cargas de la planta, se presenta a continuación. En él se aprecian el seccionador fusible tipo cut-out, los pararrayos, el transformador de 37.5 kVA, el tablero general con sus protecciones y las salidas hacia cada equipo.

DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL — SUBESTACIÓN Y ALIMENTACIÓN

Planta desalinizadora SWRO · Caleta San José · Lambayeque · SED tipo poste 37.5 kVA

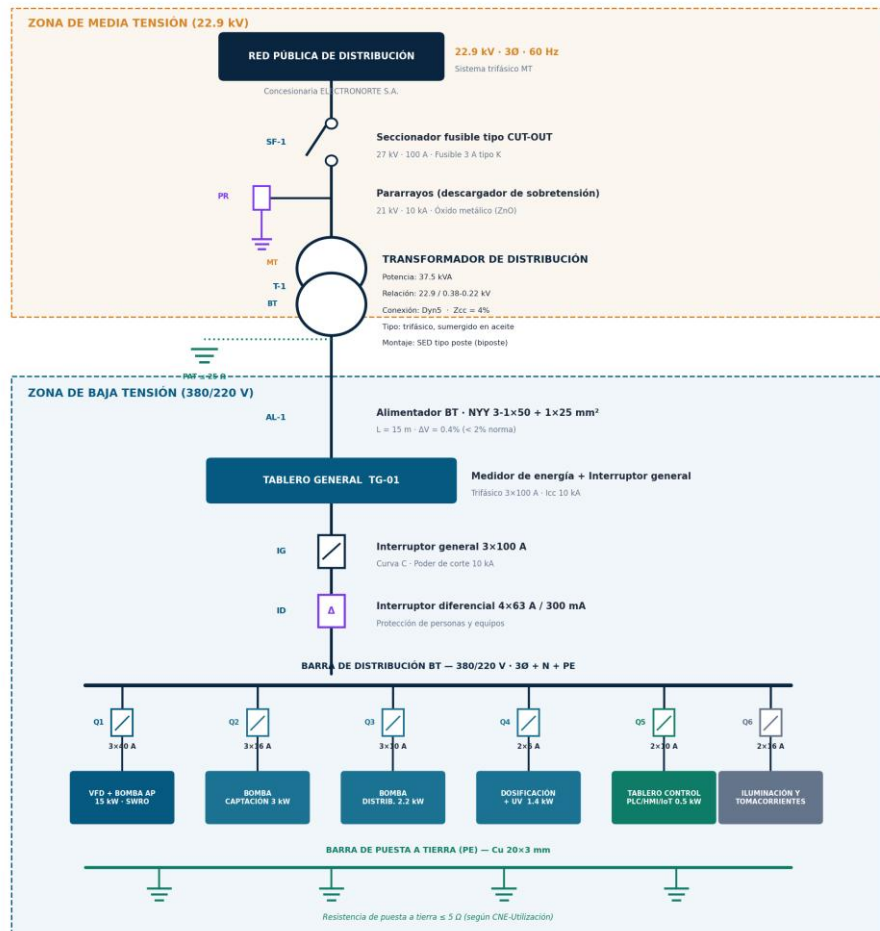


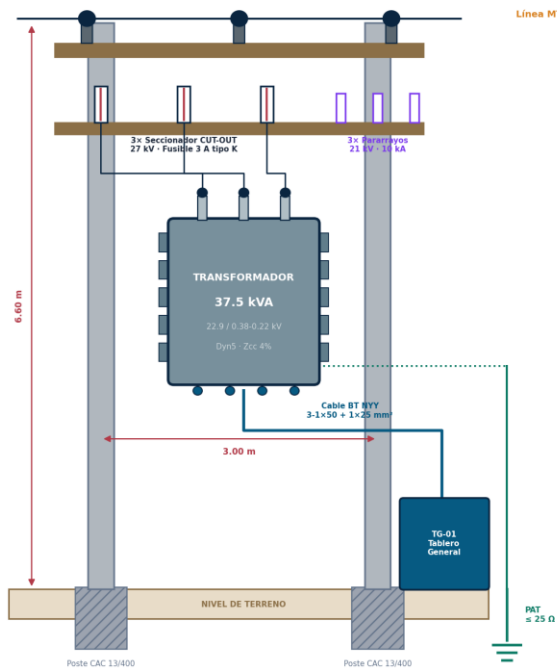
Diagrama unifilar general: subestación eléctrica y alimentación de la planta

El montaje físico de la subestación se realiza en configuración biposte, con el transformador instalado sobre estructura metálica a una altura de 6.60 m sobre el nivel del terreno, cumpliendo las distancias mínimas de seguridad establecidas por la normativa. El siguiente plano presenta la vista frontal de la subestación con su memoria de cálculo y especificaciones técnicas.

PLANO DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA — SED TIPO POSTE

Transformador 37.5 kVA · 22.9/0.38-0.22 kV · Montaje biposte · Caleta San José

VISTA FRONTAL



MEMORIA DE CÁLCULO Y ESPECIFICACIONES

A. CÁLCULO DE MÁXIMA DEMANDA

Carga	kW	cosφ	FS	kVA
Bomba alta presión (SWRO)	15.0	0.85	1.00	17.65
Bomba de captación	3.0	0.82	1.00	3.66
Bomba de distribución	2.2	0.82	0.80	2.15
Bomba dosificadora	0.37	0.80	1.00	0.46
Sistema UV + postratamiento	1.0	0.90	1.00	1.11
Tablero control / PLC / IoT	0.5	0.95	1.00	0.53
Iluminación y tomacorrientes	1.5	0.95	0.70	1.11
MÁXIMA DEMANDA	25.6	—	—	26.66

B. SELECCIÓN DEL TRANSFORMADOR

Máxima demanda calculada: 26.66 kVA
 Factor de reserva y crecimiento (25%): $\times 1.25$
 Potencia de diseño requerida: 33.32 kVA
 → **Transformador comercial adoptado: 37.5 kVA**
 Factor de utilización: 71.1 % (rango óptimo: 60-80 %)

C. PROTECCIONES Y CONDUCTORES

Corriente nominal MT (22.9 kV):	0.95 A
Fusible tipo K (2.5 x ln):	3 A
Pararrayos:	21 kV - 10 kA (ZnO)
Corriente nominal BT (380 V):	57.0 A
Interruptor general BT:	3 x 100 A / 10 kA
Interruptor diferencial:	4 x 63 A / 300 mA
Conductor BT (L = 15 m):	NY 3-1x50 + 1x25 mm ²
Caída de tensión:	0.4 % (norma: ≤ 2 %)
Puesta a tierra SED / BT:	$\leq 25 \Omega$ / $\leq 5 \Omega$

D. NORMATIVA APLICABLE

- Código Nacional de Electricidad (CNE) — Suministro y Utilización
- NTP 370.301 - IEC 60076 (transformadores de potencia)
- Norma DGE — Subestaciones de distribución (MINEM)

Plano de la subestación eléctrica tipo poste (SED) y memoria de cálculo

d) Normativa aplicable

El diseño de la subestación y del sistema eléctrico se sustenta en el Código Nacional de Electricidad (Suministro y Utilización), la Norma Técnica Peruana NTP 370.301 y la norma internacional IEC 60076 para transformadores de potencia, así como en las normas de la Dirección General de Electricidad (DGE) del Ministerio de Energía y Minas para subestaciones de distribución.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las conclusiones del presente trabajo de investigación son:

- La situación actual del abastecimiento de agua potable en las 30 viviendas de la caleta San José – Lambayeque evidencia un sistema limitado e ineficiente, caracterizado por una disponibilidad aproximada de solo 2 horas diarias y un suministro mediante cisterna de 12 m³/día, volumen que resulta insuficiente frente a la demanda estimada de 18 m³/día para la población de 150 habitantes. Esta condición genera un déficit hídrico de 6 m³ diarios, obligando a la población a racionar el uso del agua y recurrir al almacenamiento doméstico, lo que incrementa riesgos sanitarios y reduce la continuidad del servicio. Asimismo, se identifican problemas operativos asociados a la dependencia del transporte por cisterna, la ausencia de control técnico del suministro, la variabilidad en los tiempos de entrega y la inexistencia de monitoreo del sistema, factores que evidencian la necesidad de implementar una solución tecnológica que garantice disponibilidad continua, cobertura total de la demanda y una gestión más eficiente del recurso hídrico en la comunidad.
- El análisis de las condiciones técnicas del proceso de desalinización por ósmosis inversa permitió establecer los parámetros operativos necesarios para garantizar una producción eficiente y continua de agua potable en la caleta San José – Lambayeque. Se determinó un caudal de producción de 2.25 m³/h para cubrir una demanda diaria de 18 m³, con una recuperación aproximada del 40% y una presión de operación cercana a 60 bar, adecuada

para el tratamiento de agua de mar. Asimismo, se definieron los requerimientos de pretratamiento, selección de membranas, control de caudales y monitoreo de variables críticas como presión, conductividad y nivel de almacenamiento, elementos que aseguran la estabilidad del proceso y la calidad del agua producida. Estas condiciones técnicas demuestran la viabilidad del uso de la ósmosis inversa como tecnología principal para el abastecimiento de la población, optimizando la eficiencia operativa del sistema y garantizando la disponibilidad sostenida de agua potable en la zona de estudio.

- El diseño del sistema de automatización e integración IoT para la planta desalinizadora permitió establecer una arquitectura tecnológica orientada al monitoreo y control en tiempo real de las variables críticas del proceso, como presión, caudal, conductividad, nivel de almacenamiento y estado operativo de los equipos. La incorporación de sensores, PLC, variadores de velocidad y plataformas de comunicación remota posibilita la supervisión continua del sistema, la detección temprana de fallas y la optimización de la operación de la planta, reduciendo tiempos muertos y mejorando la eficiencia energética. Asimismo, la gestión automatizada del arranque, operación y parada del sistema contribuye a garantizar la calidad del agua producida y la continuidad del servicio. En conjunto, el diseño propuesto evidencia que la integración de automatización e IoT fortalece la confiabilidad operativa de la planta desalinizadora y constituye un componente clave para mejorar el abastecimiento de agua potable en la caleta San José – Lambayeque.
- La evaluación del impacto de la propuesta tecnológica, realizada mediante

simulación y análisis comparativo del sistema actual y el sistema propuesto, evidenció una mejora significativa en el tiempo y la continuidad del abastecimiento de agua potable en la caleta San José – Lambayeque. Mientras que el esquema actual presenta disponibilidad aproximada de 2 horas diarias y un déficit de 6 m³/día frente a la demanda poblacional, la implementación de la planta desalinizadora automatizada con IoT permite cubrir el 100% de la demanda estimada (18 m³/día), garantizar disponibilidad prácticamente continua del servicio y reducir a cero el déficit hídrico. Asimismo, el almacenamiento y el control en tiempo real optimizan la distribución y disminuyen la dependencia de suministros externos, evidenciando que la propuesta tecnológica reduce de manera sustancial los tiempos de desabastecimiento y mejora la eficiencia operativa del sistema de suministro de agua potable en la zona de estudio.

- La evaluación económica de la instalación de la planta desalinizadora automatizada mediante tecnología IoT demuestra que la propuesta es financieramente viable y sostenible para el abastecimiento de agua potable en la caleta San José – Lambayeque. La inversión estimada de aproximadamente S/ 215,270 se justifica frente al ahorro anual generado respecto al sistema actual de suministro mediante cisterna, el cual presenta mayores costos operativos y menor cobertura de la demanda. Los indicadores económicos obtenidos evidencian un periodo de recuperación cercano a 12 años, un Valor Actual Neto positivo y una Tasa Interna de Retorno superior a la tasa de descuento considerada, lo que confirma la rentabilidad del proyecto a largo plazo. Asimismo, la reducción del costo unitario del agua producida y

la eliminación del déficit hídrico refuerzan la conveniencia de la implementación tecnológica, no solo desde el punto de vista económico, sino también social y operativo, al garantizar un servicio continuo y eficiente para la población beneficiaria.

5.2. Recomendaciones

Las recomendaciones del presente trabajo de investigación son:

- Implementar la planta desalinizadora por ósmosis inversa automatizada con tecnología IoT como solución principal para el abastecimiento de agua potable en la caleta San José – Lambayeque, debido a su capacidad para cubrir la demanda total de la población y garantizar continuidad del servicio.
- Realizar un estudio detallado de la calidad físico-química del agua de mar en la zona antes de la implementación definitiva, con el fin de optimizar el diseño del pretratamiento y prolongar la vida útil de las membranas.
- Incorporar un programa de mantenimiento preventivo y predictivo basado en monitoreo IoT, que permita reducir fallas operativas, optimizar el consumo energético y asegurar la estabilidad del proceso de desalinización.
- Capacitar al personal local encargado de la operación y supervisión del sistema, tanto en aspectos técnicos de la planta desalinizadora como en el uso de las herramientas de automatización y monitoreo remoto.
- Implementar un sistema de gestión del recurso hídrico que incluya control del consumo, uso eficiente del agua y educación sanitaria para la población beneficiaria, a fin de garantizar la sostenibilidad del servicio.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña Merchán, J. & Rivas Cáceres, D. (2021). Diseño de un Sistema de Ósmosis Inversa para una Planta Desalinizadora de Agua de Mar en la Parroquia Manglaralto. Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Aguay Noguera, J. & Ilaquiche Cuyo, E. (2023). Aplicaciones tecnológicas de la purificadora de agua por ósmosis inversa para plantas en transformación agroindustrial. Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.
- Arteaga, R. (2023). Calidad del agua potable y su regulación en el Perú. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).
- Barboza Bardales, M. & Rivera Montalvan, S. (2019). Mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable en zonas rurales. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Casas Coronado, F. (2023). Problemática del abastecimiento de agua potable en comunidades rurales: un análisis global. Revista de Investigación en Recursos Hídricos.
- Castillo Vergara, A. & Homero Cortes, J. (2014). Gestión del abastecimiento de agua potable y su impacto en la economía local. Universidad de Chile.
- Díaz Ramos, C. & Rojas Gutiérrez, L. (2021). Diseño de planta de tratamiento para la potabilización de agua de mar del balneario de Huanchaco – Trujillo. Universidad Privada Antenor Orrego, Perú.
- García Perla, J. (2021). Propuesta de aprovechamiento de agua del mar para incrementar nivel de servicio de agua potable en ciudades del litoral lambayecano. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Garcés Vallejo, A. (2023). Evaluación de sistemas de desalinización con tecnología IoT para monitoreo remoto. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

- Gonzáles Jiménez, P. (2019). Métodos de desalinización del agua de mar: ósmosis inversa y destilación multietapa. *Revista de Ingeniería Hidráulica*.
- Guarniz Serrato, R. (2021). Análisis financiero de plantas desalinizadoras de agua de mar en el Perú. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Jaramillo Mejía, L., Manjarrez Fuentes, A. & Ramírez Chávez, E. (2024). Disparidades en el acceso al agua potable entre zonas urbanas y rurales. *Revista Latinoamericana de Recursos Hídricos*.
- Pacheco Aristes, M. (2024). Limitaciones técnicas en la gestión del servicio de agua potable en comunidades rurales del Perú. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Postigo Ramos, L. (2017). Contaminación de fuentes de agua en zonas rurales del Perú por falta de sistemas de saneamiento. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Requena Marcelo, F. (2022). Sistemas de abastecimiento de agua potable en comunidades rurales: caso Sogay, Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín, Perú.
- Sánchez, H., Reyes, C. & Mejía, K. (2018). Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Soto Alvarez, M. & Soto Benavides, R. (2013). Sistemas de automatización y control en plantas de tratamiento de agua. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Tacca Mendoza, J. (2023). Impacto de la falta de mantenimiento en redes de agua potable rurales. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- American Water Works Association - AWWA. (2007). M46 - Reverse Osmosis and Nanofiltration (2da ed.). Denver, CO: AWWA.
- DuPont Water Solutions. (2020). FilmTec SW30HRLE-400 - Hoja de datos técnicos.

Recuperado de <https://www.dupont.com/water>

Grundfos. (2023). Catálogo de bombas CRN Series para aplicaciones industriales y de ósmosis inversa. Grundfos Holding A/S, Dinamarca.

IMARPE - Instituto del Mar del Perú. (2019). Características oceanográficas y fisicoquímicas del litoral peruano. Boletín IMARPE, Vol. 34(2), Lima, Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE. Normas Técnicas OS.010, OS.030, OS.050, OS.100. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú.

Mott, R. (2006). Mecánica de Fluidos (6ta ed.). Ciudad de México: Pearson Educación.

Voutchkov, N. (2013). Desalination Engineering: Planning and Design. New York: McGraw-Hill Education.

ANEXOS

Anexo 01: Plano de Ubicación



30 viviendas a beneficiarse



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA			
Título: Planta automatizada desalinizadora mediante IOT para optimizar el tiempo de abastecimiento de agua potable a San José – Lambayeque			
Plano: UBICACIÓN			
Ubicación: San José	Autores: Sr. Villegas Burga, Julio Cesar	Escala: 1:500	U-1
Provincia: Lambayeque	Asesor: M.Sc. Ing. Jony Villalobos Cabrera	Fecha: Febrero - 2020	
Región: Lambayeque			

Anexo 02: Plano de Ubicación de la Planta Desalinizadora con IoT



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

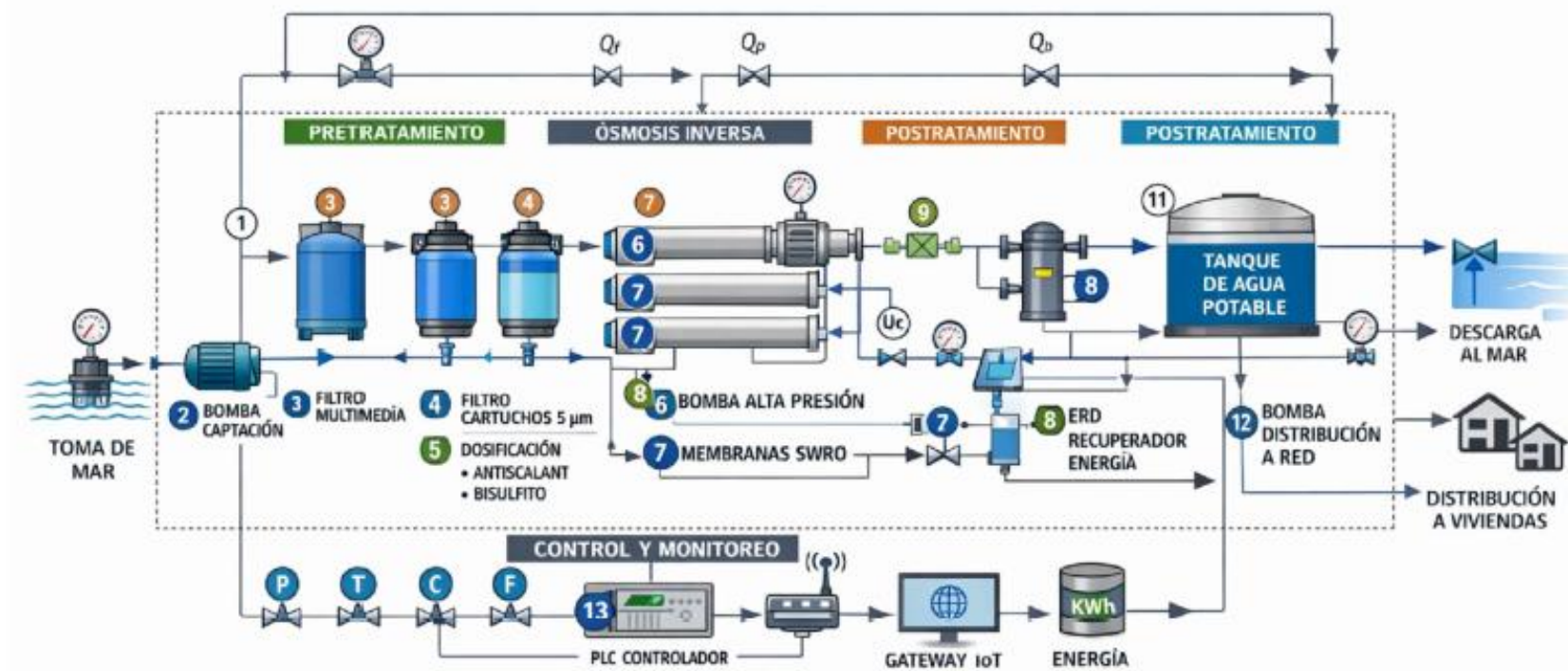
Título: **Planta automatizada desalinizadora mediante IoT para optimizar el tiempo de abastecimiento de agua potable a San José - Lambayeque**

Tema: **UBICACIÓN DE LA PLANTA**

Alumno:	Dr. Villegas Borge, Julio Cesar	Matrícula:	20
Asesor:	M.Sc. Ing. Jony Villalobos Cabrera	Fecha:	15/05/2024

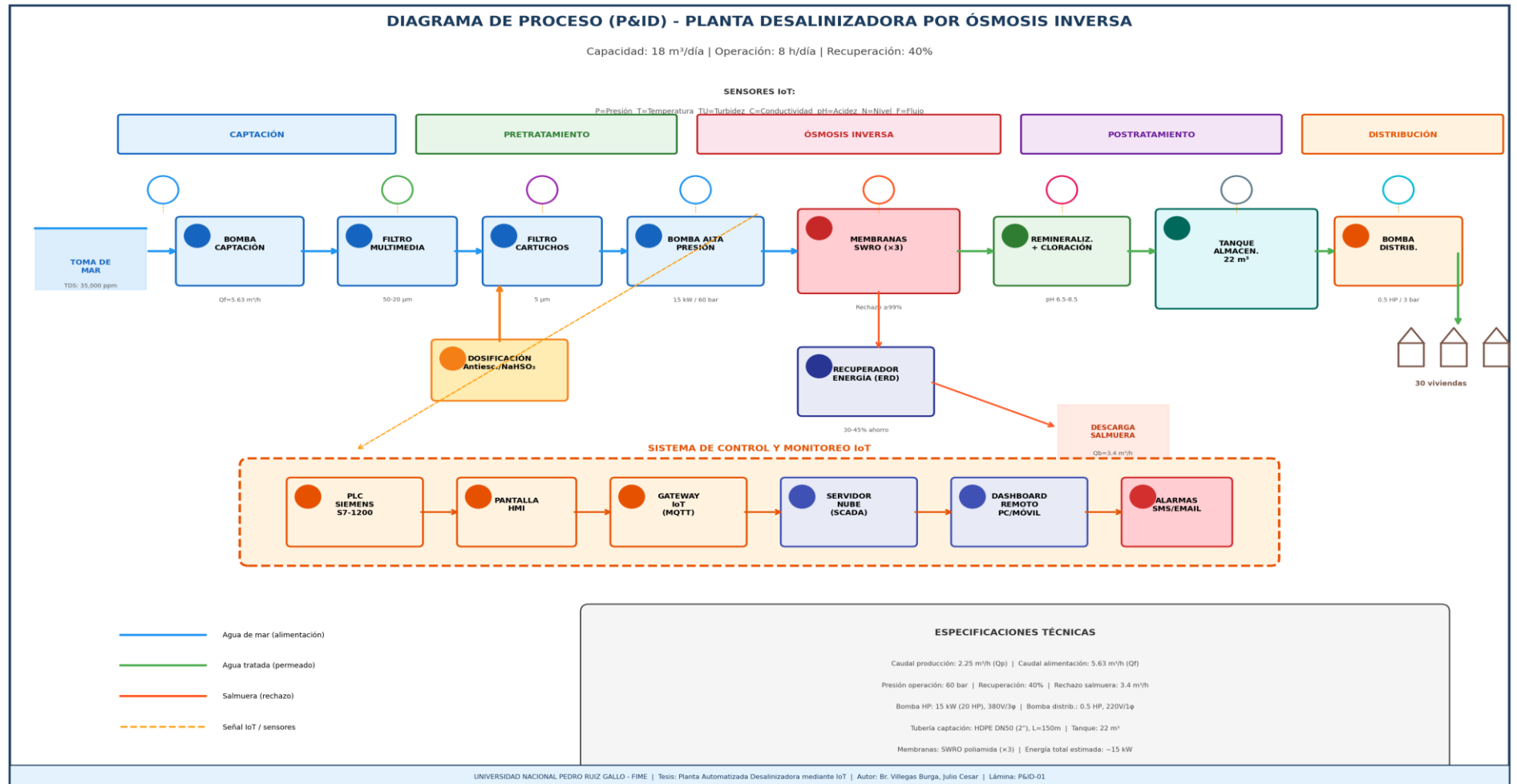
U-2

Anexo 03: Diagrama de instalación de la Planta Desalinizadora con IoT

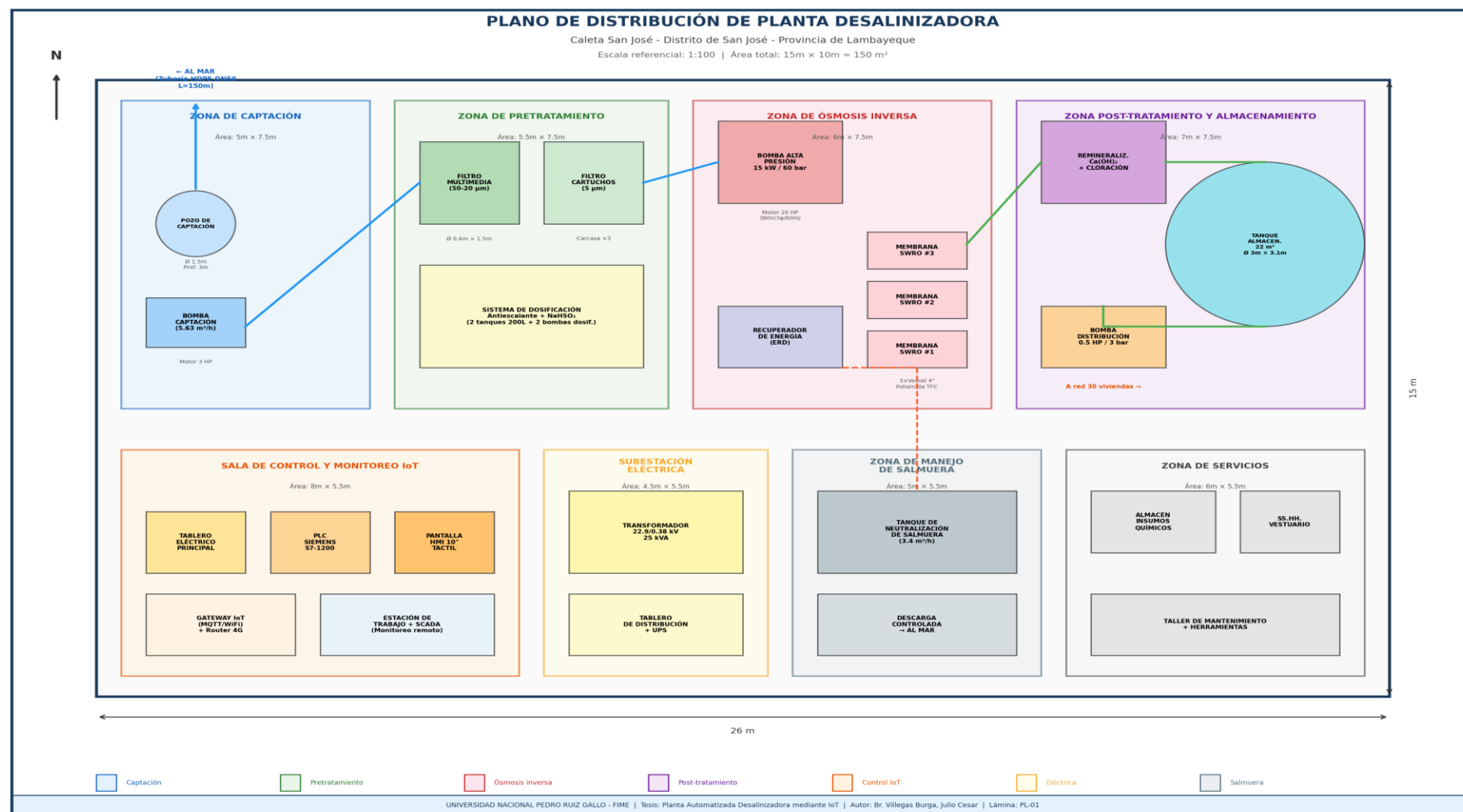


UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA			
Título: Planta automatizada desalinizadora mediante IoT para optimizar el tiempo de abastecimiento de agua potable a San José - Lambayeque			
Ficha: DIAGRAMA DE CONEXION			
Distrito: San José	Autores: Sr. Villegas Burgos, Julio Cesar	Revisado: M	U-3
Provincia: Lambayeque	Revisado: M.Sc. Ing. Jony Villalobos Cabrera	Fecha: Febrero - 2020	
Región: Lambayeque			

Anexo 04: Esquema P&ID Mejorado de la Planta Desalinizadora

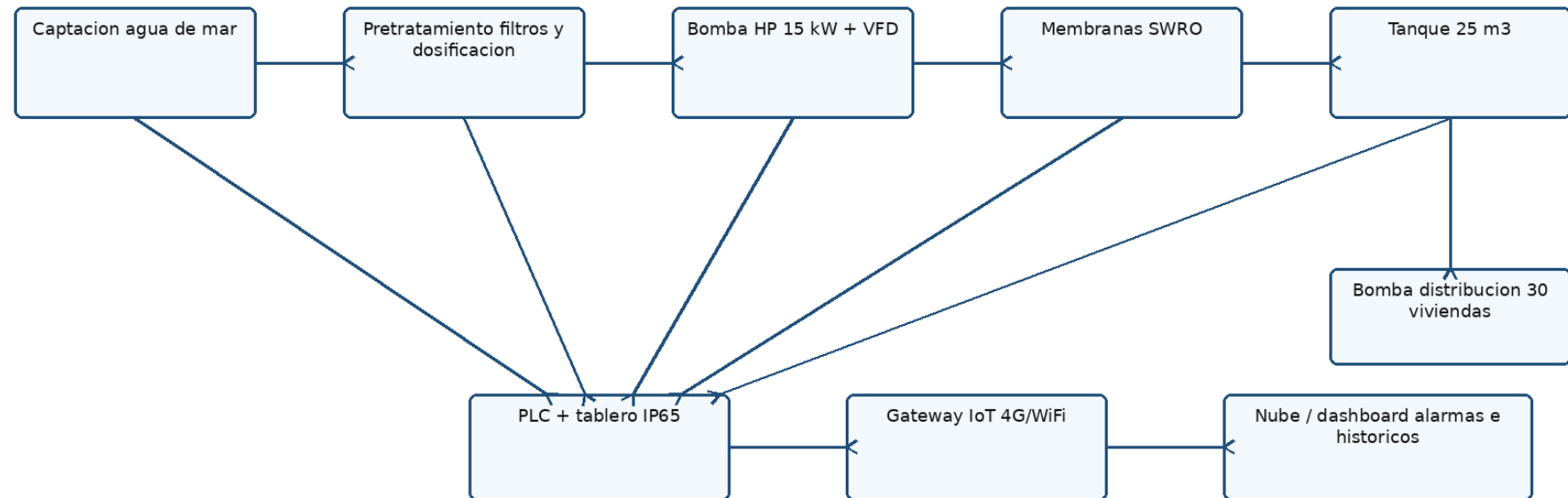


Anexo 05: Plano Detallado de Distribución de la Planta Desalinizadora



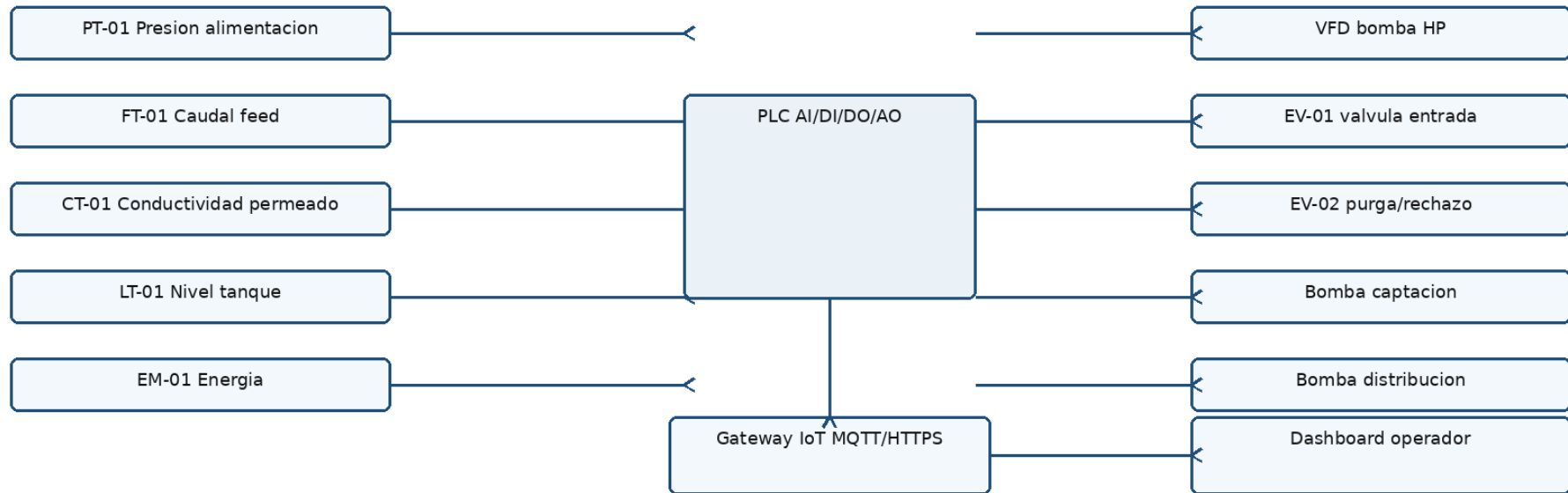
Anexo 06: Plano arquitectura de automatización y monitoreo remoto

Plano IoT-01: arquitectura de automatizacion y monitoreo remoto



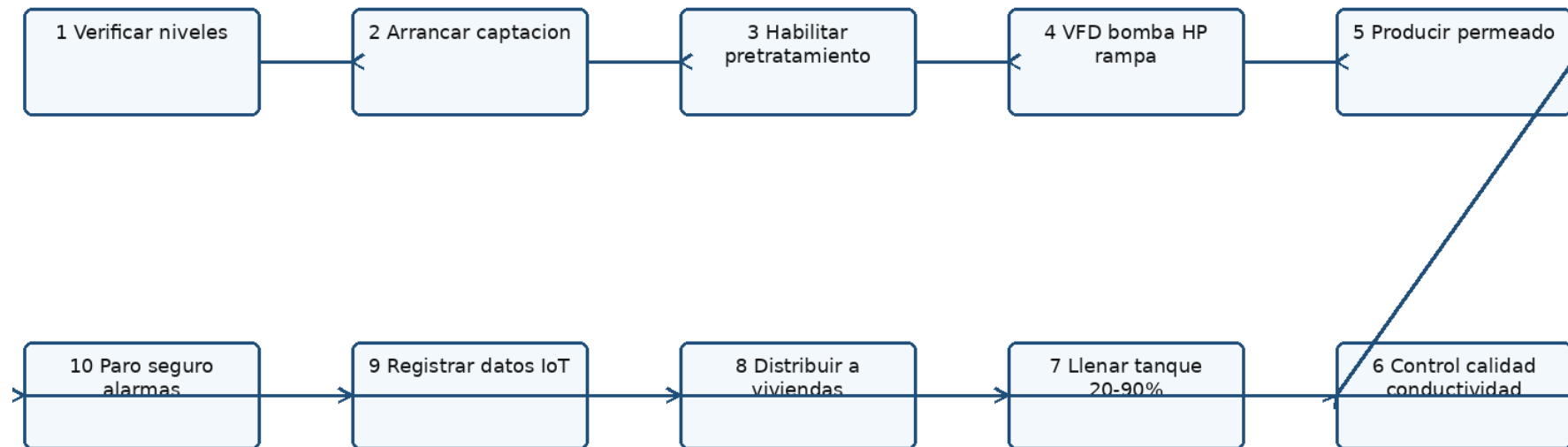
Anexo 07: Plano señales de entrada y salida del PLC

Plano IoT-02: senales de entrada/salida del PLC



Anexo 08: Secuencia de programación de equipos

Plano PRG-01: secuencia de programacion de equipos



Anexo 09: Ficha de Análisis Documental

FICHA DE ANÁLISIS DOCUMENTAL

Título de la investigación: Planta automatizada desalinizadora mediante IoT para optimizar el tiempo de abastecimiento de agua potable a San José – Lambayeque

Investigador: Bach. Villegas Burga, Julio Cesar

Fecha de revisión: ____/____/____

Datos del documento analizado:

Autor(es): Acuña Merchán, J. & Rivas Cáceres, D.

Título del documento: Diseño de un Sistema de Ósmosis Inversa para una Planta Desalinizadora de Agua de Mar en la Parroquia Manglaralto

Año de publicación: 2021 **Tipo de documento:** Tesis de grado

Fuente / Repositorio: Repositorio institucional de la Universidad de Guayaquil, Ecuador

Objetivo del documento:

Diseñar un sistema de ósmosis inversa y un plan de seguridad para la obtención de agua potable a partir de agua de mar en la parroquia Manglaralto.

Metodología empleada:

Investigación descriptiva y aplicada. Se realizó análisis de calidad del agua de la fuente y dimensionamiento del sistema mediante software ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) de DuPont.

Resultados principales:

Se logró diseñar un sistema SOI con caudal de 500 m³/día, reducción de TDS de 35,000 a menos de 500 ppm, cumpliendo normativa ecuatoriana de calidad de agua.

Relevancia para la investigación:

Aporta metodología de diseño de sistemas de ósmosis inversa para agua de mar aplicable a la presente investigación, validando el uso de membranas SWRO y parámetros de recuperación del 40%.

Observaciones: _____

Anexo 10: Ficha de Recolección de Datos

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Título de la investigación: Planta automatizada desalinizadora mediante IoT para optimizar el tiempo de abastecimiento de agua potable a San José – Lambayeque

Investigador: Bach. Villegas Burga, Julio Cesar

Lugar: Caleta San José, distrito de San José, provincia de Lambayeque **Fecha:** ____/____/____

I. Datos generales de la vivienda

Número de vivienda: 01 Número de habitantes: 5

Ubicación referencial: Sector Norte, a 2.3 km del centro de San José, frente a la playa

II. Datos del abastecimiento actual

Fuente de abastecimiento: (X) Cisterna () Red pública () Pozo () Otro: _____

Frecuencia de abastecimiento: (X) Diario () Interdiario () Semanal () Otro: _____

Horas de disponibilidad de agua al día: 2 horas

Volumen aproximado de agua consumida por día (litros): 500

Capacidad de almacenamiento doméstico (litros): 1,100 (tanque elevado de 1.1 m³)

Costo mensual aproximado del agua (S/): 120.00

III. Problemas identificados

(X) Baja presión (X) Interrupciones () Mala calidad (X) Insuficiente cantidad () Otro: _____

Observaciones adicionales: _____