

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Propuesta de implementación de sensores de nivel
de agua con macromedidor en reservorio R-2 para
la identificación temprana de fallos operacionales,
Arequipa - 2021**

Jesus Abraham Luque Huaman

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE SENSORES DE NIVEL DE AGUA CON MACROMEDIDOR EN RESERVORIO R-2 PARA LA IDENTIFICACIÓN TEMPRANA DE FALLOS OPERACIONALES, AREQUIPA – 2021 FINAL FINAL

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1%
5	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
6	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
7	sswm.info Fuente de Internet	1%

8	Fuente de Internet	1 %
9	1library.co Fuente de Internet	1 %
10	llamkasun.unat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
13	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Tecsup Trabajo del estudiante	<1 %
15	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
16	Submitted to Universidad Tecnológica Indoamerica Trabajo del estudiante	<1 %
17	Submitted to Escuela Superior Politécnica del Litoral Trabajo del estudiante	<1 %
18	repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx Fuente de Internet	<1 %

19	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.autonoma.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
22	pdfcoffee.com Fuente de Internet	<1 %
23	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
24	documents.mx Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	instruprocesos.com Fuente de Internet	<1 %
27	slideplayer.es Fuente de Internet	<1 %
28	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
29	revistas.utm.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
30	vdocuments.mx Fuente de Internet	<1 %

31	www.scielo.pt Fuente de Internet	<1 %
32	Submitted to Ecomundo Babahoyo Trabajo del estudiante	<1 %
33	ria.utn.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	proyectoseducativoscr.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %
36	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	Submitted to unasam Trabajo del estudiante	<1 %
39	Submitted to Universidad Catolica Los Angeles de Chimbote Trabajo del estudiante	<1 %
40	peruvotoinformado.com Fuente de Internet	<1 %
41	Submitted to CONACYT Trabajo del estudiante	<1 %
42	repositorio.una.ac.cr Fuente de Internet	<1 %

<1 %

43

documentop.com

Fuente de Internet

<1 %

44

pt.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

45

ruidera.uclm.es

Fuente de Internet

<1 %

46

repositorio.uta.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

47

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

48

Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola

Trabajo del estudiante

<1 %

49

repositorio.unid.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

50

txdedato.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

51

www.puertosdeandalucia.com

Fuente de Internet

<1 %

52

Submitted to Universidad ESAN -- Escuela de Administración de Negocios para Graduados

Trabajo del estudiante

<1 %

53

Submitted to Universidad Nacional de Colombia

Trabajo del estudiante

<1 %

54

Submitted to Universidad de Salamanca

Trabajo del estudiante

<1 %

55

Submitted to Universidad del Istmo de Panamá

Trabajo del estudiante

<1 %

56

conecultachiapas.gob.mx

Fuente de Internet

<1 %

57

docplayer.es

Fuente de Internet

<1 %

58

prezi.com

Fuente de Internet

<1 %

59

repositorio.itc.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

60

repositorio.usmp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

61

Gegenhasi, Xing-Biao Hu. "On an integrable differential-difference equation with a source", Journal of Nonlinear Mathematical Physics, 2006

Publicación

<1 %

62

biblioteca2.ucab.edu.ve

Fuente de Internet

<1 %

63	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
64	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
65	rraae.cedia.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
66	searchdatacenter.techtarget.com Fuente de Internet	<1 %
67	thewashroom.waterforpeople.org Fuente de Internet	<1 %
68	www.docstoc.com Fuente de Internet	<1 %
69	www.lisi.usb.ve Fuente de Internet	<1 %
70	depot.ceon.pl Fuente de Internet	<1 %
71	nemesisnoticias.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %
72	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
73	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
74	silo.tips Fuente de Internet	<1 %

75

theibfr.com

Fuente de Internet

<1 %

76

vsip.info

Fuente de Internet

<1 %

77

www.crt.gov.co

Fuente de Internet

<1 %

78

www.kerwa.ucr.ac.cr

Fuente de Internet

<1 %

79

www.mincomercio.gov.co

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo

ASESOR

Mg. Ing. Polhett Begazo Velásquez

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme muchas fuerzas para terminar este proyecto.

A mi gran amigo y padre que me ve desde lo alto.

A mi Madre e hijas que me inspiran a ser cada día mejor.

DEDICATORIA

Se lo dedico a mi Madre e hijas que siempre me dan la fuerza para seguir.

A mi padre que, a pesar de su ausencia, nunca dejo de motivarme con sus ejemplos en vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	3
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.1.2 Formulación del Problema	4
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos	5
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	5
1.4 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	6
1.4.1 Hipótesis.....	6
1.4.2 Variables.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	9
2.1.1 Internacionales	9
2.1.2 Nacionales.....	10
2.2 BASES TEÓRICAS	12
2.2.1 Reservorios	12
2.2.2 Fallos operacionales en reservorios	15
2.2.3 Automatización y Control.....	16
2.2.4 Sensores	18
2.2.5 Medición de Nivel	19
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	24
3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
3.1.1 Método	24

3.1.2	Alcance.....	24
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	25
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	25
3.5	TÉCNICAS PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	25
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		26
4.1	RESULTADOS	26
4.1.1	Diagnóstico de la Operación Actual del Reservorio R-2	26
4.1.2	Factores que Inciden en la presencia de fallos operacionales en el Reservorio R-2.....	36
4.1.3	Arquitectura operacional del sistema para la implementación de un sensor de nivel con macromedidor en el Reservorio R-2	39
4.1.4	Beneficios Operacionales y Económicos de la Implementación de un Sensor de Nivel con Macromedidor en el Reservorio R-2.....	59
4.2	DISCUSIÓN.....	65
CONCLUSIONES.....		67
RECOMENDACIONES		68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		69
ANEXOS		73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de las variables	8
Tabla 2.	Parámetros de operación del Reservoirio R-2	26
Tabla 3.	Componentes del sistema hidráulico actual del Reservoirio R-2.....	27
Tabla 4.	Población que abastece el reservorio R-2.....	29
Tabla 5.	Cantidad de conexiones que suministra el reservorio R-2	30
Tabla 6.	Fallos operacionales que inciden en la operación del Reservoirio R-2	36
Tabla 7.	Características técnicas del PLC S7-1200 Siemens	47
Tabla 8.	Estación remota a automatizar.....	48
Tabla 9.	Costo de implementación de la propuesta a partir del global	58
Tabla 10.	Beneficios operacionales	60
Tabla 11.	Relación de actividades de operación y mantenimiento del Reservoirio R-2 ..	61
Tabla 12.	Beneficios económicos traducidos en ahorros	62
Tabla 13.	Flujo de caja proyectado para el análisis económico del proyecto	64
Tabla 14.	Indicadores de análisis de rentabilidad del proyecto	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Componentes básicos de un tanque de almacenamiento.....	14
Figura 2.	Pirámide de la automatización y control.....	16
Figura 3.	Sistema de circuito cerrado	18
Figura 4.	Esquema de elementos de un sistema de medición de tanques	20
Figura 5.	Instalación de sensores – transmisores de diferencial de presión en recipientes abiertos y cerrados	21
Figura 6.	Ilustración gráfica de una válvula de control de nivel con flotador eléctrico.	22
Figura 7.	Esquema de la operación del Reservorio R-2.....	28
Figura 8.	Esquema de distribución del reservorio R-2.	29
Figura 9.	Diagrama de procedimiento de limpieza y desinfección de reservorio.....	34
Figura 10.	Diagrama de procedimiento de purga de grifos contra incendio.	35
Figura 11.	Diagrama de Pareto de las causas de los fallos operacionales.	37
Figura 12.	Diagrama causa efecto de la caída de obturador de válvula de salida.	38
Figura 13.	Diagrama causa efecto de la caída de obturador de válvula de ingreso.	38
Figura 14.	Diagrama causa efecto del rebose de reservorio.....	39
Figura 15.	Esquema gráfico general de un sistema de telemetría	40
Figura 16.	Esquema general del sistema de telemetría con integración del macromedidor.....	41
Figura 17.	Arquitectura para el sistema de automatización y control en el R-2.....	42
Figura 18.	Modelo de sensor de radar marca Vea	43
Figura 19.	Sensor de radar Vega instalado en Reservorio.....	43
Figura 20.	Modelo de sensor de presión Vega Krohne.	44
Figura 21.	Sensores de presión Vega Krohne instalado en reservorio.	44
Figura 22.	Cámara de bombeo del reservorio R-2 para macro – medidor.	45
Figura 23.	RTU Bacsoft.	46
Figura 24.	PLC Modelo S7-1200 de Siemens.....	46
Figura 25.	Secuencia lógica de ejecución del PLC.	47
Figura 26.	Interfaz de acceso remoto al sistema de monitoreo del Reservorio.	53
Figura 27.	Interfaz de monitoreo de niveles y capacidad del reservorio.....	54
Figura 28.	Interfaz gráfica de monitoreo del nivel reservorio.....	54
Figura 29.	Interfaz de monitoreo del reservorio según calendario.	55
Figura 30.	Interfaz de monitoreo de datos generales del reservorio.	55

Figura 31.	Interfaz de visualización de ubicación de reservorio.	56
Figura 32.	Interfaz de visualización para generación de reportes en el sistema.	56
Figura 33.	Vista general del sistema de telemetría de acceso por el usuario en la empresa.....	57

RESUMEN

Esta tesis tuvo como objetivo general, realizar una propuesta de implementación de sensores de nivel de agua con macro medidor en Reservorio R-2, para la identificación temprana de los fallos operacionales. La metodología es de tipo no experimental con alcance descriptivo, se aplicó la observación directa y las fichas de registro para el diagnóstico de la situación actual de la operatividad del Reservorio R-2 en Arequipa y la identificación de los factores que inciden en la presencia de fallos operacionales. Tras lo cual, se diseñó la arquitectura operacional para la implementación de un sensor de nivel con macro medidor, se determinaron los beneficios operacionales y económicos de su implementación. Los resultados mostraron un sistema de monitoreo y control empírico realizado a través de una regla cubicada con nivel bajo 1.5 m., nivel alto 4.5 m., maniobras de válvulas de control al ingreso y a salida sin sensores de nivel, medidores de flujo, presión, etc. que permitan llevar un adecuado control automático. Por ello, se encontró que los factores que más inciden en las fallas operacionales ,son las caídas de obturador de válvulas de ingreso y salida y el rebose de agua del reservorio, los cuales son manejados por operarios manteniéndose durante turnos nocturnos. En función de ello, se propuso un sistema de monitoreo y control de nivel de líquido basado en sistema por telemetría que integra sensor de nivel de radar, un sensor de presión, macro medidor de flujo, Unidad de Terminal Remoto (RTU), Plataforma LoT Bacsoft, Comunicación GPRS 3G y Controlador Lógico Programable (PLC). Finalmente, se determinaron los beneficios de la implementación de la propuesta, traducido en ahorro económico anual con un VAN>0 y TIR>COK, lo cual indica la viabilidad del proyecto.

Palabras claves: sensor de radar, sensor de nivel, nivel de líquido, reservorio, macromedidor.

ABSTRACT

The general objective of this thesis was to propose the implementation of water level sensors with a macrometer in Reservoir R-2 for the early identification of operational failures. The non-experimental methodology with a descriptive scope applied direct observation and registration data for the diagnosis of the current situation of the operation of the R-2 Reservoir in Arequipa and the identification of the factors that affect the presence of operational failures. After which, the operational architecture for the implementation of a level sensor with a macrometer was designed and the operational and economic benefits of its implementation were determined. The results showed an empirical monitoring and control system carried out through a cubed rule with a low level of 1.5m and a high level of 4.5m and control valve maneuvers at the entrance and exit without level sensors, flow meters, pressure, etc. that allow adequate automatic control. For this reason, it was found that the factors that most affect operational failures are the inlet and outlet valve shutter falls and the overflow of water from the reservoir; which are managed by workers staying during night shifts. Based on this, a liquid level monitoring and control system was proposed based on a telemetry system that integrates a radar level sensor, a pressure sensor, a macro flow meter, a Remote Terminal Unit (RTU), and a BacsoftLoT Platform. , GPRS 3G communication and Programmable Logic Controller (PLC). Finally, the benefits of the implementation of the proposal were determined, translated into annual economic with $VNA > 0$ and $TIR > COK$, which indicates the feasibility of the project.

Keywords: radar sensor, liquid level, liquid sensor, reservoir, macrometer.

INTRODUCCIÓN

La instrumentación industrial es el conjunto de equipamientos y dispositivos que utilizan los ingenieros o técnicos, para medir, convertir y registrar variables de un proceso, para luego transmitirlos, evaluarlos y establecer los controles pertinentes. En este entorno, los dispositivos de medición y control de procesos industriales, suelen medir particularidades físicas como, presión, temperatura, nivel, flujo, etc. Además, existen productos complementarios para la adquisición y automatización de datos, lo que hace que el proceso de medición y control sea más rápido, eficiente y rentable.

Por su parte, la arquitectura de control y seguimiento de la infraestructura existente de extracción, gestión, almacenamiento, distribución de agua y bombeo de agua potable, no ha cambiado en los últimos años. Estas arquitecturas fueron inicialmente satisfactorias, pero ahora están obsoletas debido a los avances tecnológicos desarrollados para operar la infraestructura hidráulica de manera más eficiente.

Por lo tanto, es necesario automatizar la función de monitoreo de la infraestructura hidráulica a través de la operación de encendido/apagado de medidores de flujo, presiones, niveles, sensores de detección de movimiento, puertas abiertas, interruptores, válvulas de control, solenoides y dispositivos de bombeo.

Ahora, estas herramientas son cada vez más necesarias para operaciones de sistemas operativos más eficientes, que eviten el desperdicio y el mal uso de fluidos críticos, debido a la expansión de la infraestructura hidráulica a medida que crece la demanda.

En este contexto, la presente investigación buscó realizar una propuesta de implementación de sensores de nivel de agua con macromedidor en Reservorio R-2 para la identificación temprana de los fallos operacionales. Para ello, abordó un alcance no experimental descriptivo, presentando los siguientes capítulos:

I) Planteamiento del problema: en este capítulo se describe la realidad problemática, se plantean las preguntas de investigación, los objetivos, se explica la justificación, se establecen las hipótesis y las variables de estudio.

II) Marco teórico: en este capítulo se presentan los antecedentes relacionados a la investigación y se describen las bases teóricas necesarias para la adecuada comprensión del tema.

III) Metodología: en este apartado se muestra el método, alcance y diseño de la investigación, así mismo, se define la población y muestra y, se describen las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

IV) Resultados y discusión: en este acápite se presentan e interpretan los resultados obtenidos en concordancia con los objetivos planteados en la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento del Problema

Siendo el agua potable un recurso imprescindible para mantener la vida de las especies y considerando su importante rol en el bienestar de los seres humanos, no debe sorprender los incuantificables esfuerzos que se han venido implementando en distintos países (en su mayoría desarrollados), por garantizar el abastecimiento y acceso de este vital líquido en las comunidades. Es así, como una de las grandes preocupaciones ha sido el monitoreo en tiempo real y la protección de estructuras estratégicas como los reservorios, a fines de asegurar su correcto funcionamiento y su durabilidad en el tiempo, rectificando oportunamente en caso de fallos.

El conocimiento del nivel del agua en estos reservorios, proporciona información sobre la variabilidad de las masas del líquido y desempeña un papel clave en el seguimiento y la gestión de los recursos hídricos. De esta manera, se observa cómo han proliferado los esfuerzos en el desarrollo de tecnologías no invasivas para monitorear el nivel del agua en dichas infraestructuras. Así, se ha observado el uso de métodos basados en sensores remotos fundamentados en sistemas globales de navegación por satélite, en sistemas geodésicos terrestres automatizados y/o en sistemas diseñados en tiempo real basado en Internet de las cosas (IoT).

Todos estos, buscan usar la tecnología para automatizar el proceso de medición del nivel de agua en los reservorios que, en la mayor parte de los países en desarrollo como el Perú, se realiza en gran medida de forma manual, lo cual incrementa el riesgo de desperdicio de agua, despilfarro en el consumo de energía por el sistema de bombeo, desabastecimiento del recurso vital hacia los usuarios y, en caso extremos, de las

Inundaciones que pueden ocasionar daños patrimoniales y físicos a las comunidades aledañas.

Esta realidad también es palpable en la Empresa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa Sociedad Anónima (SEDAPAR S.A.), en la cual, si bien se ha avanzado en la automatización en el proceso de bombeo a los reservorios, todavía estas infraestructuras no cuentan en su totalidad de sensores (soportados en la telemetría) que permitan obtener los niveles de agua en tiempo real, sino que disponen de un sistema manual que no permite dar respuesta oportuna en caso de incidentes y es propenso al fallo proveniente de la impericia, descuido o negligencia humana.

De esta manera, las consecuencias, es que no se determinan a tiempo las fugas de agua como resultado de problemas estructurales, ni tampoco se identifican tempranamente los riesgos de inundación ante lluvias imprevistas o, por el contrario, los déficits del recurso vital en la etapa de sequía. La mayoría de estos eventos culminarían no solo con la interrupción del servicio, sino que ocasionarían incalculables pérdidas económicas y humanas.

De acuerdo con lo anteriormente descrito, se plantea la implementación de sensores de nivel de agua para diagnosticar con anticipación, las posibles fallas que se pueden presentar durante el funcionamiento, para ello es necesario conocer a profundidad la situación actual de la empresa y cuáles son las principales causas que provocan dichas fallas, para poder proponer un sistema que permita evitar su aparición, y por tanto, mantener la continuidad operacional y seguridad, para que sea aceptable económicamente para la empresa.

1.1.2 Formulación del Problema

Problema General

¿De qué manera una propuesta de implementación de sensores de nivel de agua con macromedidor en Reservorio R-2 permitirá la identificación temprana de los fallos operacionales?

Problemas Específicos

- ¿Cuál es la situación actual de la operatividad del Reservorio R-2 en Arequipa?
- ¿Cuáles son las causas que inciden en la presencia de fallos operacionales en el Reservorio R-2 en Arequipa?

- ¿Cuál es la arquitectura operacional para la implementación de un sensor de nivel con macromedidor para la identificación temprana de fallos en el Reservorio R-2 en Arequipa?
- ¿Qué beneficios operacionales y económicos se logran con la implementación de un sensor de nivel con macromedidor que permita la identificación temprana de fallos operacionales en el Reservorio R-2 en Arequipa?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Diseñar una propuesta de implementación de sensores de nivel de agua con macromedidor en Reservorio R-2 que permita la identificación temprana de los fallos operacionales.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual de la operatividad del Reservorio R-2 en Arequipa.
- Identificar las causas de los problemas que inciden en la presencia de fallos operacionales en el Reservorio R-2 en Arequipa.
- Diseñar la arquitectura operacional para la implementación de un sensor de nivel con macromedidor que permita la identificación temprana de fallos en el Reservorio R-2 en Arequipa.
- Determinar los beneficios operacionales y económicos de la implementación de un sensor de nivel con macromedidor que permita la identificación temprana de fallos operacionales en el Reservorio R-2 en Arequipa.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Justificación Práctica. El acceso al servicio de agua potable es imprescindible para la supervivencia de todas las especies del planeta (entre ellas la del ser humano), para el desarrollo socioeconómico de las comunidades, es por eso que, dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se ha contemplado el objetivo N° 6, en el cual todas las naciones (entre ellas, el Perú) se han comprometido a garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, la empresa SEDAPAR S.A. forma parte de las organizaciones que tienen esa responsabilidad; por ello, deben realizarse propuestas como las que se pretende presentar en este estudio que contribuyan a cumplir

con esa meta, bajo niveles de seguridad que no comprometan la integridad física y material de las comunidades.

Justificación Económica. A través de la presente propuesta, se podrá reducir los costos económicos que ocasiona la falta de disponibilidad de agua en las comunidades, lo que limita la producción agrícola e industrial y afecta actividades cotidianas de los ciudadanos (educación, salud y recreación); de igual modo, se previenen posibles desastres ocasionados por la inundación, que afectan la infraestructura (habitacional, educativa, de salud y vial) y los sistemas de producción (cultivos, pastoreo, fábricas, entre otros) que ocasionan importantes costos a los ciudadanos y al Estado.

Justificación Teórica. La propuesta de implementación de sensores de nivel agua con macromedidor en el Reservorio 2 de Arequipa, permitirá mejorar el proceso de medición del nivel del agua en dicha infraestructura, detectando a tiempo alteraciones que pueden deberse a problemas estructurales y/o a cambios imprevistos en las condiciones climáticas y reduciendo la actuación del hombre en el manejo de equipos, lo cual acrecienta el riesgo de fallas por la inexperiencia, inconsciencia o negligencia, que alteran la operatividad del sistema de agua potable y alcantarillado de Arequipa.

Justificación Social. Esta propuesta mejorará la calidad de vida de los ciudadanos de Arequipa, visto que contribuirá al aseguramiento eficiente y efectivo de un recurso vital para el desarrollo de la actividad humana. En función de ello, la propuesta a realizar tiene un alto valor social, porque incrementará el bienestar de los pobladores de la región, con base requerimientos de calidad y acceso de agua potable para el pleno desenvolvimiento de las actividades.

Justificación Tecnológica. Debe destacarse que en el Perú siguen siendo pocas las experiencias de la implementación de la telemetría, que consiste en una medición vía remota de magnitudes físicas y su transmisión a un sistema informático, en procesos relacionados con el abastecimiento de agua. Por lo tanto, la presente investigación constituirá un importante referente que podrá estimular otras iniciativas, en el uso de la IoT en distintas operaciones y procesos productivos.

1.4 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.4.1 Hipótesis

Hipótesis General

La implementación de sensores de nivel de agua con macromedidor, permitirá la identificación temprana de los fallos operacionales en Reservorio R-2 que asegurará el abastecimiento de agua en la ciudad de Arequipa.

Hipótesis Específicas

- Un diagnóstico de la situación actual de operatividad del Reservorio R-2 en Arequipa, permitirá conocer la problemática de fallos operacionales del mismo.
- Existen causas externas e internas en el reservorio que inciden en la presencia de fallos operacionales en el Reservorio R-2 en Arequipa.
- La arquitectura operacional definida para la implementación de un sensor de nivel con macromedidor permitirá la identificación temprana de fallos en el Reservorio R-2 en Arequipa.
- La implementación del sensor de nivel con macromedidor en el Reservorio R-2 en Arequipa, tiene beneficios operacionales y económicos significativos para la optimización de la gestión del recurso hídrico.

1.4.2 Variables

- Variable Independiente
Propuesta de implementación de un sensor de nivel con macromedidor.
- Variable Dependiente
Fallos operacionales en Reservorio R-2.
Estas variables se parametrizan en la tabla de operacionalización 1.

Tabla 1.*Operacionalización de las variables*

Variables	Dimensiones	Indicadores
Propuesta de implementación de sensor de nivel con macromedidor	Arquitectura operacional y componentes del sensor	- Intervalo de valores de rebose - Intervalo de valores de desabastecimiento
	Evaluación de Costo Operacional	- Porcentaje de Rentabilidad y ahorro - Porcentaje de Costo e inversión. - Niveles de estándar de operación - Caudales estándares de operación
Fallos operacionales en Reservoirio R-2	- Diagnóstico actual del reservorio	- Niveles de Presiones de estándares de trabajo - Estándares de Funcionamiento y condición de tuberías y válvulas
	-Tipo de falla	- Porcentaje de Fallas físicas - Porcentaje de Fallas eléctricas - Porcentaje de Fallas funcionales
	Fallos operacionales en Reservoirio R-2	- Identificación de factores Internos - Identificación de factores Externos

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El tema abordado en la presente investigación ha sido poco estudiado por su nivel de especificidad, por lo cual se plantean antecedentes relacionados al contexto que muestren una base de entendimiento y comparación en cuanto a lo estudiado.

2.1.1 Internacionales

En la ciudad de Pereira, Colombia; Álvarez et al. (2020), realizaron un diseño de un sensor de nivel ultrasónico, con aplicación en tanques reservorios de agua de los sistemas piscícolas. El objetivo principal, consistió en diseñar un sensor de nivel ultrasónico energéticamente sustentable y con comunicación inalámbrica, para el monitoreo continuo de tanques reservorios de agua en los sistemas de producción piscícola. De esta manera, la metodología del diseño comprendió un circuito electrónico para el funcionamiento adecuado del sensor de nivel, una carcasa para el mismo que lo proteja de los factores externos del ambiente al que se expone y el diseño de un programa para el microcontrolador para la lectura y envío de datos inalámbricamente. Además, plantearon una interfaz básica para la recolección de datos básicos del sensor. Para tales efectos, empleó los softwares de ingeniería Eagle, Inventor Professional 2019 y LabView 2013. El diseño dio como resultado una placa electrónica de doble cara, con tres dispositivos electrónicos Arduino UNO, un sensor ultrasónico HC-SR04 y un XBee S2C (antena). La interfaz de usuario en pantalla muestra las mediciones registradas por el sensor de nivel cada minuto. Las mediciones se actualizan automáticamente, de forma que se evitan fallos de funcionamiento provocados por la supervisión del tanque por parte del usuario. Finalmente, afirmaron que el propósito del dispositivo no es solo para este sector. También

se puede implementar en sistemas de riego automático, sistemas de monitoreo de niveles de almacenamiento de agua no especificados en la obra.

En la ciudad de Catamayo, Ecuador; Calderón et al. (2018), realizaron un monitoreo y automatización del proceso de bombeo y almacenamiento (reservorio) de agua potable aplicado a una planta de tratamiento de agua, cuyo objetivo se centró en diseñar una arquitectura tecnológica de bajo costo para la automatización del sistema de bombeo y almacenamiento de agua, la etapa de purificación en la PTAP de Catamayo. Como resultado del proyecto, se desarrolló un prototipo utilizando componentes electrónicos compatibles con el paradigma IoT (Internet of Things) aplicado durante la fase de limpieza del PTAP en Catamayo. La arquitectura propuesta, se basó en sensores de nivel flotante, tarjetas de interfaz TX, tarjetas de transmisión de datos, tarjetas de recepción de datos, tarjetas de interfaz RX, PLC, pantallas digitales y módulos fotovoltaicos. Para evaluar el comportamiento, utilizaron una prueba de campo paralelo para recopilar datos sobre las variables de entrada/salida cada 6 segundos durante 24 horas. Estas variables fueron el estado de nivel mínimo, estado de nivel máximo, estado de arranque de la bomba y modo manual/automático. La lógica correcta del control de la bomba y la alta eficiencia del sistema de comunicación se pueden verificar mediante la señal del sistema de control.

En la ciudad de Riobamba, Ecuador; Palataxi et al. (2017), desarrollaron la automatización e implementación de un sistema de recolección, cloración y monitoreo de niveles de agua, cloro y oxígeno del agua potable del caserío Mollepamba. La metodología se inició con un diagnóstico del estado y condición actual del sistema de agua potable de la aldea. Posteriormente, se desarrollaron sistemas automatizados de cloración y monitoreo. Por lo tanto, se realizaron pruebas y mediciones experimentales para evaluar el funcionamiento del sistema automatizado en el proceso de dosificación. Al medir la cantidad de agua en el reservorio se utiliza el servomotor MG996R y la válvula de cierre conectada al mismo, implementando el sensor ultrasónico srf04 para calcular la cantidad de agua para automatizar la cloración, Arduino Mega para la apertura de la válvula dosificadora. El monitoreo inalámbrico, se realizó a través de la interfaz entre los módulos XbeeSerie 2 y se registraron variables de cantidad de nivel de agua, oxígeno y pastillas en el dispensador para visualizar los datos a través de la pantalla Nextion NX3224T028.

2.1.2 Nacionales

En la ciudad de Arequipa, Domínguez (2018) en su tesis titulada Diseño de un sistema de control distribuido con control PID difuso para control de nivel de aguas para una planta de distribución de servicios de agua potable, efectuó un diseño de un sistema

de control distribuido con control PID difuso para control de nivel de aguas, para una planta de distribución de servicios de agua potable. Las metodologías aplicadas incluyeron análisis interno y externo del sistema actual de la planta, operación y control de embalses individuales, circuitos de control entre embalses y determinación del nivel del agua. De igual manera, se analizaron los efectos del golpe de ariete en las líneas primaria y secundaria (fallas) y, se estudiaron las curvas gaussianas óptimas y los esquemas del sistema de control para la apertura y cierre de la válvula de retención principal. Para ello, se aplicaron técnicas de lógica difusa a sistemas de control distribuido mediante un software de ingeniería que utilizaba un lenguaje de pseudocódigo, finalmente se realizaron pruebas para conocer las respuestas obtenidas de acuerdo con las técnicas de control aplicadas. Con respecto a la reducción del golpe de ariete, se encontró que el cierre absoluto de la válvula principal, se puede controlar de manera más adecuada utilizando el controlador de lógica difusa Takagi Sugeno, que ayudó a reducir el golpe de ariete. En parte, los controladores difusos son inestables durante la lluvia y otras condiciones atmosféricas del agente de desbordamiento, lo que puede aumentar significativamente las tasas de flujo y permitir que otro análisis resuelva estas perturbaciones. De manera similar, se encontró que la instrumentación y el equipo utilizados para desarrollar el controlador, eran correctos, las mediciones eran consistentes y los sistemas de control de flujo, como medidores de flujo y sensores de diferencia de presión, no eran inestables. En conclusión, las pruebas de rendimiento concluyen que es importante identificar los puntos de control dentro de un sistema de lógica difusa y determine las variables de control para esos puntos específicos en lugar de todo el sistema.

En la ciudad de Lambayeque, Maz y Vela. (2018), desarrollaron una tesis sobre sistema automático de supervisión y control de nivel del tanque elevado para garantizar el abastecimiento de agua en la universidad nacional Pedro Ruíz Gallo, cuyo objetivo principal comprendió el diseño de un sistema monitoreo y control de nivel del tanque elevado. La metodología incluyó la detección del sistema actual (tanque de agua, bomba, tanque). Investigación en técnicas de monitoreo y control a nivel de tanque, enfoque del sistema SCADA a sus aplicaciones, diseño de enlaces inalámbricos entre centros de control y tanques, selección de equipos y equipos para monitoreo y control. Finalmente, se consideró la simulación del sistema. Se utilizaron varios softwares de ingeniería Somachine Basic 1.3, Vijeo Designer 6.2 y LabView basados en el sistema de control SCADA y la programación de HMI y PLC. Además, se realizó una evaluación económica de la propuesta. De esta forma, se obtiene un sistema automatizado diseñado con el diagrama de escalera (ladder) PLC Schneider M221, con 10 variables de entradas discretas, 2

variables de entradas analógicas y 10 variables de salidas discretas gestionadas, es monitoreado por SCADA en la oficina de operaciones al mismo tiempo. tiempo como la casa de bombas en el tanque. De igual forma, el programa activa electrobombas y válvulas dependiendo del nivel del tanque y cisterna. También puede controlar manualmente estos dispositivos si lo desea.

En la ciudad de Tayacaja, Pari et al. (2022), realizaron la implementación de un prototipo de monitoreo del nivel del agua en el reservorio de Viñas de la ciudad de Pampas de la provincia de Tayacaja. Para el desarrollo de la investigación, se continuó con cuatro fases de resolución de problemas: en el proceso de comprensión del problema, planificación de actividades, implementación y prueba de las mismas, o manejo de información con estudiantes del II ciclo de la carrera de ingeniería industrial en la evaluación de la solución. Para el desarrollo del prototipo, utilizaron la placa Arduino UNO y el sensor ultrasónico HC-SR04 como dispositivos principales, y pudieron medir la diferencia de nivel del agua almacenada en el reservorio. El software mBlock se utilizó durante el desarrollo de una interfaz gráfica para monitorear los niveles de agua. Cuenta con un fácil desarrollo de aplicaciones de una manera fácil de usar. También se elaboró un modelo para simular el embalse Viñas del Valle de Pampa, el cual fue probado para operación prototipo. Se concluye que, el nivel ultrasónico puede determinar adecuadamente el nivel del agua en el reservorio estudiado y monitorearlo a través de una interfaz gráfica de usuario, por lo tanto, en el intervalo de tiempo especificado por el usuario, establecer el modo adecuado a la disponibilidad hídrica en varios reservorios del valle de Pampas –Tayacaja.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Reservorios

Los depósitos, tanques, torres, cisternas o embalses, por un lado, almacenan el agua tratada antes de distribuirla a los hogares y consumidores y, por otro lado, compensan las fluctuaciones en la cantidad y calidad del agua. Para hacer esto, almacena agua durante las horas de baja demanda, como por la noche, para asegurarse de que haya suficiente agua disponible durante las horas de alta demanda, cuando muchas personas necesitan agua al mismo tiempo. Algunas de estas instalaciones también tienen otras características, tales como (Roberti, 2018):

- Complemente para otros pozos con menor rendimiento.
- Suministro de agua para emergencia como, por ejemplo, incendios.

- Reserva temporal de agua tratada para casos de interrupciones puntuales en el suministro desde la fuente, de fallas en equipos de bombeos o, en otras palabras, en caso de alguna contingencia operacional.
- Ayuda a estabilizar la presión en toda la red de suministro.
- Se comporta como un sistema de alivio en un sistema de distribución alimentado por bombeo.
- Permite el bombeo de caudal promedio en vez de un caudal máximo, entre otros.

Los reservorios que son utilizados en la mayoría de los sistemas de distribución de agua por bombeo, pueden ser de varios tamaños, incluidos los tanques pequeños que forman parte del sistema de suministro por gravedad. Por lo tanto, el tamaño de las reservas requeridas depende de la población beneficiaria, la confiabilidad de la fuente de agua, el nivel de experiencia y los recursos financieros disponibles para mantener el suministro de agua (Roberti, 2018).

Como expone Agüero (2004), un reservorio de almacenamiento está comprendido por dos partes: la principal constituida por el depósito de almacenamiento y la secundaria, correspondiente a la caseta de válvulas donde se encuentran las válvulas de control de entrada, salida del agua, de limpieza, rebose, y bypass (derivación). De esta manera, Manitoba Conservation and Water Stewardship (García 2017) describe los componentes básicos que deben ser parte de un tanque de almacenamiento (figura 1), siendo estos los siguientes:

- Depósito de almacenamiento, su capacidad o cantidad depende de la demanda promedio de agua y de la frecuencia de abastecimiento de la población beneficiaria. El diseño excesivo de esta infraestructura puede afectar la calidad del agua, ya que el cloro residual que está involucrado en el control microbiano, se disipa con el tiempo. Del mismo modo, el tiempo de almacenamiento puede afectar las propiedades del agua, mejorando la calidad mientras se aumenta con mayor frecuencia.
- Compuerta de acceso, su función es ingresar al tanque y realizar la inspección, limpieza y mantenimiento dentro del tanque. La cubierta de la puerta debe estar diseñada con un candado para evitar la apertura y el cierre de contaminantes externos, como otras especies acuáticas e insectos.
- Tubería de ventilación de aire, tiene una forma curva hacia abajo, como el cuello de un cisne, y debe protegerse para evitar que entren escombros y animales en el tanque.

- Caseta de válvulas, por lo general, se puede cerrar con llave para evitar el uso inapropiado de las entradas, salidas, drenajes y válvulas de control de derivación de agua. Las tuberías de salida de agua se instalan unas pocas pulgadas por encima del fondo del tanque, para reducir la posibilidad de que los sedimentos acumulados ingresen al sistema de distribución de agua corriente abajo.
- Bomba de agua y tanque de presión, se utilizan en depósitos subterráneos donde este accesorio necesita poder aspirar y distribuir agua.

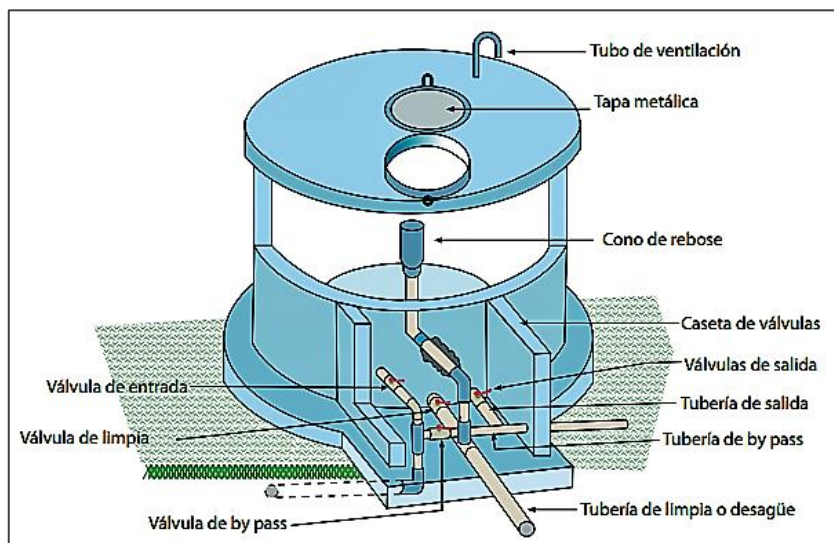


Figura 1. Componentes básicos de un tanque de almacenamiento.
Fuente: Roberti (2018).

Igualmente, la Care Internacional - Avina (2012), menciona que el tanque de reservorio, además de la estructura propia de almacenamiento, siempre debe contar con los componentes y accesorios que serán descrito (CARE Internacional - Avina 2012).

- Tubería: debe haber una tubería de entrada con una válvula de aislamiento para asegurar la suspensión o el ingreso de agua al tanque según sea necesario. Tuberías de salida con válvulas de control, tuberías de lavado de tanques con válvulas de control, tuberías directas o de derivación, tuberías de desbordamiento y tuberías de drenaje con válvulas de control utilizadas durante la limpieza de tanques.
- Tapa o cubierta superior: debe haber una tubería de entrada con una válvula de aislamiento para asegurar la suspensión o el ingreso de agua al tanque según sea necesario. Tuberías de salida con válvulas de control, tuberías de lavado de tanques con válvulas de control, tuberías directas o de derivación, tuberías

de desbordamiento y tuberías de drenaje con válvulas de control utilizadas durante la limpieza de tanques.

- Tapa o compuerta de inspección: permite el ingreso al tanque por motivos de mantenimiento.
- Escalera de acceso al tanque, facilita las labores de limpieza interna y externa.
- Tubos de ventilación o respiradores: se requiere algún tipo de rejilla al final del tanque para evitar que entren elementos externos al tanque.
- El tanque reservorio debe contar con un sistema de medición de nivel de líquido.

2.2.2 Fallos operacionales en reservorios

Una falla constituye una situación en que un sistema industrial deja de cumplir parcial o absolutamente su función o, cuando se presenta una diferencia inaceptable entre su desempeño nominal y el obtenido en la práctica; lo cual se manifiesta en la calidad del producto, capacidad o velocidad de operación/producción o en la eficiencia/rendimiento. Las fallas pueden estar relacionadas con fallas en los equipos (mantenimiento, material, diseño, etc.) o con errores operativos, asociados al error humano (Zapara, 2011).

Por otra parte, Yavarone (2019), explica que, si el medio de producción deja de cumplir una o más de sus funciones mucho antes de que finalice su vida útil, se dice que ha fallado. Estas fallas pueden provocar pérdidas, tiempo de inactividad inesperado de la planta y mayores costos de mantenimiento y reparación. De igual manera, Zapata (2011), también menciona que las fallas pueden generar pérdidas económicas para el dueño del sistema; situaciones de peligro para el sistema, operarios y la población, diferentes a las admisibles y puede provocar una pérdida de la imagen para los productos o para el dueño del sistema.

La falla del sistema de agua potable puede ser causada por fallas físicas del equipo, como grietas, roturas y fugas. Afectado por factores que ejercen efectos de control, tales como presión máxima, calidad del material, método de construcción, condición de los componentes y factores externos no controlables como son las características del agua y del suelo, desastres antropológicos, entre otros. Asimismo, comenta que estas fallas pueden provocar pérdidas técnicas, relacionadas con la pérdida de volúmenes de agua (Yavarone, 2019).

Como se ha podido deducir de varios autores mencionados, las fallas operacionales en sistemas de agua potable, incluido los reservorios, suelen estar relacionadas con caídas de presiones del sistema, fugas en componentes de las tuberías, fallas eléctricas de equipos como bombas accionadas por motores, obstrucción de tuberías y accesorios por

sedimentación de material y por eventos circunstanciales como rebalse de los tanques, entre otros. Al ser un sistema de agua potable, cuenta con un sistema de control de nivel de agua que evita que el tanque se desborde o se quede sin agua. En general, no existen obligaciones asociadas con la operación del contenedor, a menos que la válvula requiera operación de acuerdo con las necesidades del servicio o debido a la interrupción del servicio (Koutoudjian, 2019).

2.2.3 Automatización y Control

La automatización es un campo de la ingeniería centrado en el control óptimo de los procesos mecánicos o industriales para mejorar la calidad y la productividad del producto. Está comprendida por un sistema de cinco (5) niveles básicos que forman la pirámide de la automatización (figura 2); estos son: i) nivel de campo, ii) nivel de control, iii) nivel de supervisión y iv) nivel de gestión (Palataxi y Santos., 2017).

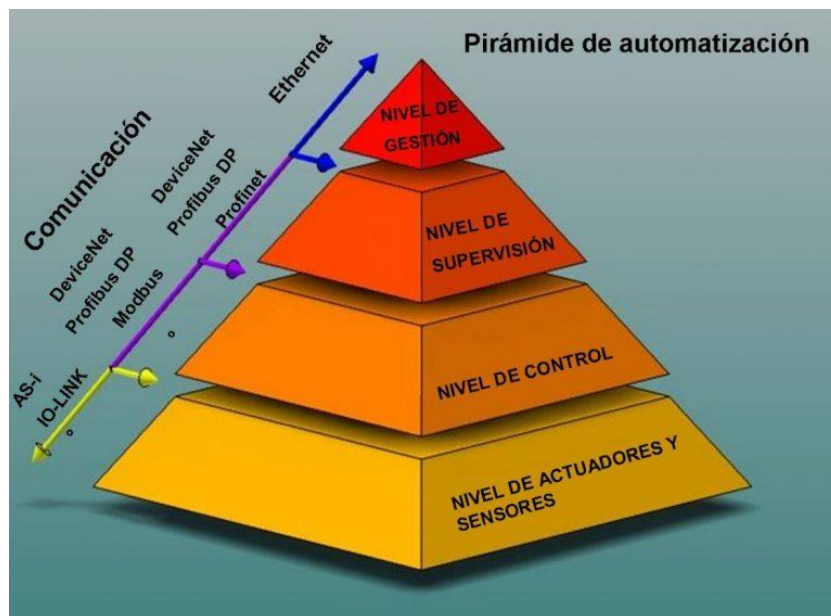


Figura 2. Pirámide de la automatización y control
Fuente: Micro Automación (2021).

Como se puede notar, en la figura 2, el primer nivel base para la automatización, lo constituye el nivel de campo donde se encuentran los equipos y dispositivos que están en contacto directo con el proceso, estos pueden ser sensores, actuadores, motores eléctricos, válvulas de procesos, etc. Este nivel es monitoreado y controlado por el nivel de control, en el cual se encuentran los distintos dispositivos para ello tales como PLC (Controlador lógico programable), HMI, variadores de frecuencia, etc. Por su parte, el nivel

de supervisión, se encarga de controlar la interacción entre los diversos dispositivos ubicados en el nivel de control; de esta manera, se puede monitorear y controlar diferentes procesos al mismo tiempo; en este nivel se incluyen los sistemas maestros de PLC y los sistemas SCADA (Palataxi et al., 2017).

La automatización espera recibir señales a través de sensores y transmisores que permitan recopilar datos sobre variables físicas específicas para controlar el proceso como temperatura, presión y nivel. Los procesamientos de estas señales, se desarrollan mediante elementos inteligentes, los cuales realizan una comparación de ellas para convertirla y finalmente, procesarla (Maz & Vela, 2018).

Los sistemas de control, son los encargados de recibir información del exterior, procesarla y responder a los eventos. Hay algunos factores característicos que intervienen en esto (Ogata, 2010):

- Variable de control, conocida de forma global, como la señal de salida, la cual se desea que adquiera un valor determinado.
- Planta o sistema, representa un conjunto de elementos que realizan u operan sobre una función o proceso particular.
- Sensor, este es uno de los factores que permite obtener el valor de una variable que se controla en un momento determinado.
- Señal de referencia, una señal de valor establecido o un valor registrado como una señal de salida, es decir, un objetivo de control.
- Actuador, elemento que actúa sobre el sistema modificando la señal de salida.
- Controlador, un controlador o gobernador es un elemento que controla un actuador de acuerdo con sus objetivos de control.

Para satisfacer estos requerimientos, los sistemas de control pueden ser de lazo abierto o lazo cerrado. De esta manera, (Andrade, 2019) describe un sistema de lazo abierto, como un sistema en el que las entradas (variables de entrada del sistema) se manipulan con base en la experiencia del sistema y se obtienen los valores requeridos en la salida. Sin embargo, no modifica debido a cambios en las condiciones de operación. Luego, en un sistema de circuito cerrado hay retroalimentación de salida a entrada y se realizan comparaciones, como se muestra en la figura 3. La diferencia se utiliza como medio de control para que se mantenga la salida. Es constante incluso si cambian las condiciones de funcionamiento.

García et al. (2003), si el sistema es completamente conocido y no se pueden cambiar sus características (tanto internas como externas), es recomendable utilizar un sistema de control en lazo abierto más simple y económico. Los sistemas de control de

circuito cerrado, tienen ventajas en caso de falla del sistema o cambios impredecibles en algunas propiedades (García A., 2017).

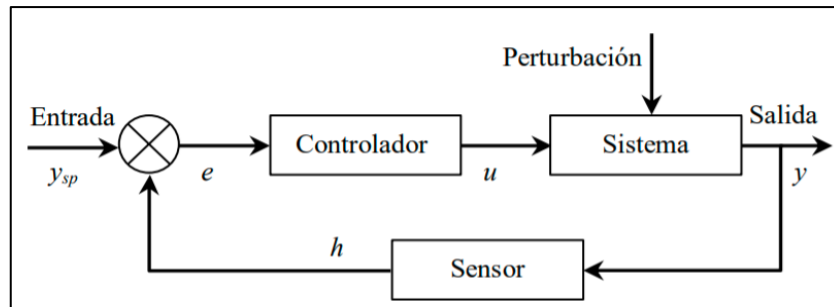


Figura 3. Sistema de circuito cerrado

Nota: Sistema de control cerrado con retroalimentación.

Fuente: Tomado de Ogata (2010).

2.2.4 Sensores

Los sensores de señal realizan mediciones en el sistema de control necesario para realizar operaciones de control. De esta forma, el sensor tiene la capacidad de detectar una cantidad física y enviarla al transmisor, el cual convierte esta cantidad física en una señal de voltaje o corriente y la envía al dispositivo que realiza la acción de control (Domínguez, 2018).

Como mencionan (Carrión y Guerrero, 2018), los sensores son elementos que tienen la capacidad de cambiar propiedades en cantidades físicas o químicas llamadas variables de instrumentación y utilizan transductores para convertirlas en variables eléctricas. Los ejemplos de variables de instrumentación incluyen temperatura, distancia, aceleración, inclinación, presión, nivel, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento y pH. La cantidad de electricidad incluye resistencia eléctrica (RTD), capacidad eléctrica (sensor de humedad), voltaje (termopar), corriente, etc.

Como resultado, el sensor a diferencia del transductor, siempre entra en contacto con el ajuste de la cantidad. Los transductores utilizan sus propiedades a través de un dispositivo para adaptar la señal a medir, para que otro dispositivo pueda interpretarla. Por ejemplo, los termómetros de mercurio aprovechan el hecho de que el mercurio necesita expandirse o contraerse bajo la influencia de la temperatura. Los sensores también se pueden describir como dispositivos que convierten una forma de energía en otra (Carrión y Guerrero, 2018).

El concepto de escalado, que correlaciona cantidades físicas y eléctricas a través de ecuaciones, debe contextualizarse cuando se trata de sensores. En la mayoría de los casos, la escala es lineal; para ello se relacionan los valores mínimos y máximos de las medidas de los sensores con los estándares eléctricos mínimos y máximos que pueden

ser de corriente o de tensión. Por ejemplo, señales eléctricas o electrónicas basadas en un rango 4 a 20 mA o de tensión en 0 a 10 V; asimismo, pueden ser discretas, representadas por dos estados: uno o cero (Domínguez, 2018).

2.2.5 Medición de Nivel

En los sistemas de agua potable, el control de nivel evita el desbordamiento de los contenedores y la escasez de agua. En el primer caso, el controlador señala para parar la bomba al tanque/cisterna, en el último caso, la primera señal da una alarma de nivel bajo y la señal complementaria posterior da un comando para parar la bomba. Estos sistemas de control son tan simples como una serie de flotadores o sistemas ultrasónicos, que capturan las ondas que rebotan en la superficie del agua desde el techo del tanque y las convierten de forma remota mediante algoritmos. Por lo tanto, determinan el nivel de llenado del contenedor (Koutoudjian, 2019).

Por otro lado, Creus (2010), expone que los indicadores de nivel son muy importantes en la industria, ya que permiten una comparación adecuada de entradas y salidas dentro de un proceso. Hay indicadores de nivel para aplicaciones líquidas y sólidas. Las mediciones de nivel de líquido se pueden realizar directamente mediante la presión hidrostática, el desplazamiento del flotador, las propiedades eléctricas del líquido u otros métodos, como la dispersión óptica, oscilante y térmica.

En el mismo contexto (Emerson, 2021), explica que el medidor de tanque es una medida del líquido de almacenamiento grande para cuantificar el volumen y la masa del producto en el tanque. Además, se dice que los sistemas modernos de medición de tanques, digitalizan las mediciones y envían señales a la sala de control, donde la información se distribuye a los usuarios a cargo del inventario.

El concepto de medidores de tanques no se limita a equipos de tanques de precisión; esto se debe a menudo a la necesidad de una comunicación de datos fiable a través de redes de transmisión de datos de gran tamaño tanto por cable como inalámbricas. Este sistema de medición de tanques (información / software) debe realizar una variedad de funciones, como la interfaz del operador, la gestión de lotes, la generación de informes y las funciones de alarma (Emerson, 2021). Por ejemplo, en la figura 4, se muestra un esquema de los elementos y sistema para la medición de tanques.

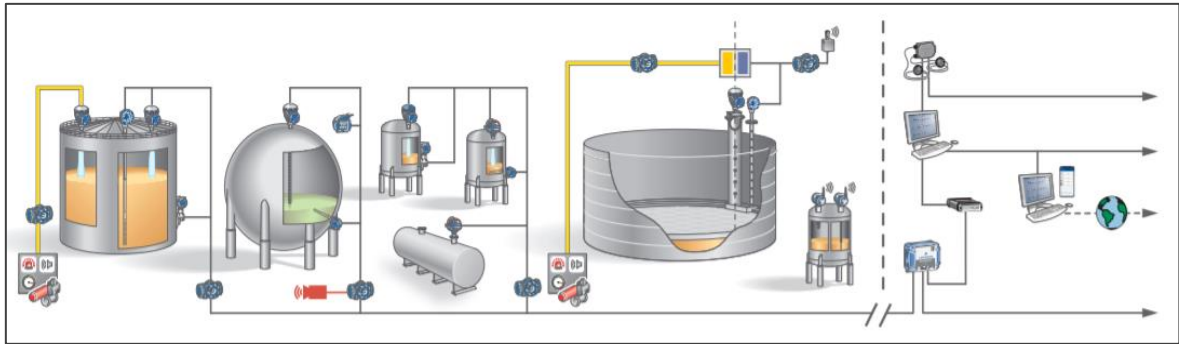


Figura 4. Esquema de elementos de un sistema de medición de tanques

Nota: El esquema muestra una cantidad de dispositivos y funciones interdependientes para la medición de tanques.

Fuente: Emerson (2021).

Sensor de Nivel. Es un dispositivo electrónico que mide la altura de líquido dentro de un tanque u otro recipiente. Los sensores de nivel se clasifican en dos: los de punto y los continuos, los primeros se emplean para señalar una altura de un líquido en un nivel preestablecido, este tipo de sensor funciona como alarma indicando un sobre llenado cuando el nivel determinado ha sido alcanzado o, por el contrario, una alarma de nivel bajo; los segundos en cambio, son más sofisticados ya que pueden efectuar el seguimiento del nivel de todo un sistema. Estos miden el nivel del fluido dentro de un rango especificado, en vez de en un único punto, generando una salida analógica que se correlaciona directamente con el nivel en el recipiente. Para crear un sistema de gestión de nivel, la señal de salida está vinculada a un bucle de control de proceso y a un indicador visual (Omega, 2021).

Los tres indicadores de nivel más utilizados son la presión diferencial, el flotador y el burbujeador. El método de diferencia de presión (figura 5) es para detectar la diferencia de presión entre la presión en el fondo del líquido y la presión en la parte superior del líquido causada por el peso que provoca el nivel del líquido (Maz y Vela, 2018).

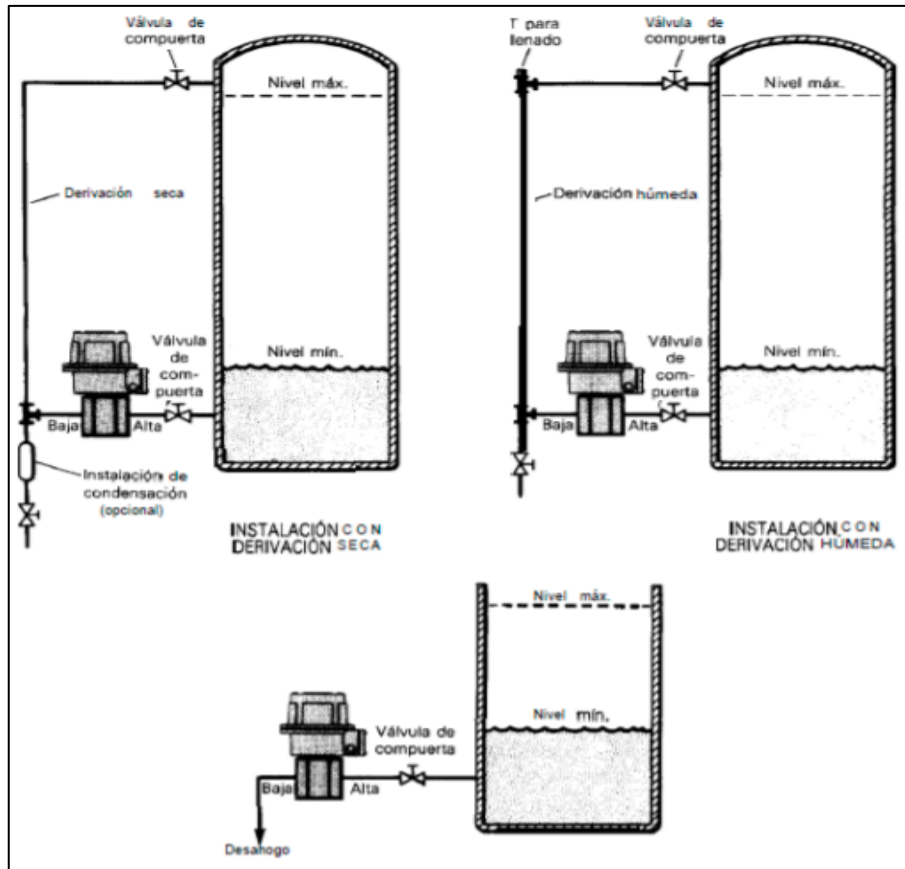


Figura 5. Instalación de sensores – transmisores de diferencial de presión en recipientes abiertos y cerrados
Fuente: Maz y Vela (2018).

El extremo que se usa para detectar la presión en el fondo del líquido, se denomina extremo de alta presión, el extremo que se usa para detectar la presión en la parte superior del líquido, se denomina extremo de baja presión. Conocer la diferencia de presión y la densidad del líquido ayudará a determinar el nivel.

Por su parte, el sensor de punto flotante magnético, mueve el nivel del líquido y activa el interruptor de láminas sellado (interruptor de láminas) en el eje. Fácil mantenimiento, fácil instalación, mínimo impacto, vibración y presión, funciona con una variedad de medios. Los interruptores de láminas pueden ser unipolares, unipolares (SPST) o bipolares (SPDT), son los sensores de nivel de líquido que más se emplean (Omega, 2021). En la figura 6, como se muestra en el gráfico de un sensor tipo flotador.

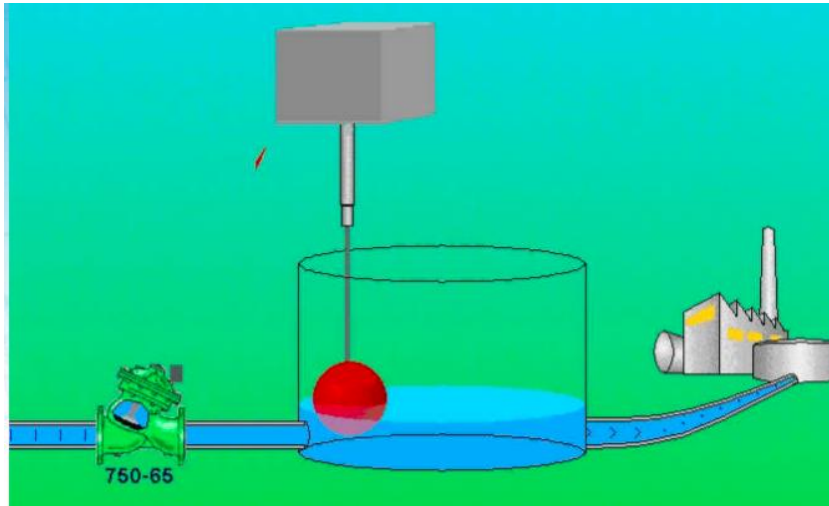


Figura 6. Ilustración gráfica de una válvula de control de nivel con flotador eléctrico.
Fuente: García et al. (2003).

Un sensor de flotador se usa para registrar cambios en la flotabilidad de un objeto sumergido en un líquido. Este sensor generalmente se monta en el exterior del contenedor. La fuerza requerida para mantener el flotador en su lugar, es proporcional al nivel del líquido y el transmisor la convierte en una señal (Maz y Vela, 2018).

También hay disponibles sensores de nivel ultrasónicos de contacto y sin contacto. El primero (sin contacto) incluye procesadores de señales analógicas, microprocesadores, interruptores de rango decimal codificado en binario (BCD) y circuitos de salida del controlador; envían un pulso a través del procesador de señal analógica del sensor al puerto de señal de la ruta del microprocesador, que envía un haz ultrasónico a la superficie del líquido. El sensor de nivel, captura el eco de la superficie y lo envía de vuelta al microprocesador para obtener una representación digital de la distancia entre el sensor y el nivel de la superficie. Por lo tanto, al actualizar continuamente la señal recibida, el microprocesador calcula el valor medio para medir el nivel del líquido (Omega, 2021).

Por ejemplo, en el caso de un sensor de nivel continuo, el microprocesador convierte la media en una señal analógica de 4 a 20 mA, que es proporcional al nivel del líquido. Si el eco de nivel no vuelve al sensor en 8 segundos, la salida del sistema estará por debajo de 4 mA, lo que indica un nivel bajo o una tubería vacía. Con un sensor de punto, el microprocesador compara la media con la configuración del interruptor BCD y enciende el relé de salida para indicar niveles altos o bajos. Una pérdida de señal de más de 8 segundos, desactiva el relé y lo devuelve a su estado original. Los dispositivos electrónicos tienen un retardo incorporado de 0,5 segundos que minimiza el efecto superficial de la turbulencia (Omega, 2021).

Un sensor de nivel de contacto, es un dispositivo ultrasónico de baja energía dentro de un sensor de nivel de líquido en un punto particular. Consisten en un amplificador de estado sólido integrado con un sensor adjunto. No tienen partes móviles y no necesitan ser calibrados. Estos sensores se utilizan en tanques o tuberías para operar automáticamente bombas, válvulas de solenoide y alarmas de nivel alto/bajo. Se requieren dos sensores de nivel de agua para llenar y vaciar el tanque de agua y para medir la cantidad de líquido. Son compatibles con la mayoría de los líquidos y no se ven afectados por el recubrimiento; sin embargo, los líquidos altamente respirables o los líquidos que son tan viscosos que obstruyen la luz del sensor pueden causar problemas (Omega, 2021).

Los sensores de nivel capacitivo, como los sensores ultrasónicos, pueden realizar mediciones de nivel puntuales o continuas. Se utiliza una sonda para controlar los cambios en el nivel de agua en el tanque y ajustar electrónicamente la salida a valores capacitivos y de resistencia. Estos valores se convierten en señales analógicas. La sonda y el recipiente corresponden a las dos placas del capacitor, y el líquido corresponde al medio dieléctrico. La señal se genera únicamente a partir de cambios de nivel, por lo que la acumulación de material en la sonda no tiene ningún efecto. Los contenedores de líquidos no conductores pueden indicar sondas duales o cinta conductora externa (Omega, 2021).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Método

Siendo el método mixto descrito por (Hernández, Fernández y Baptista, 2014), como aquel que representa una serie de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación, e implican la recopilación y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su consolidación y discusión conjunta, para hacer inferencias resultado de toda la información obtenida (meta inferencias) y de esta manera, obtener un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio.

3.1.2 Alcance

El alcance descriptivo definido (Carrasco, 2017), como aquel que abarca las características, cualidades, propiedades y/o rasgos esenciales de un hecho o fenómeno de la realidad, en un momento determinado. De esta manera, se abocó a caracterizar los aspectos operativos del Reservorio R-2, así como identificar las principales fallas operacionales y los factores que las generan a fin de definir una arquitectura de control apropiada que implique la implementación de un sensor de nivel con macromedidor.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Como menciona (Hernández, Fernández, y Baptista, 2014), en un diseño no experimental, no se genera ninguna situación, pero la investigación observa una situación existente que no ha sido provocada conscientemente por el ejecutante. De esta forma, los definimos como estudios que se realizan sin manipulación consciente de variables y donde los fenómenos se observan únicamente en el medio natural para analizarlos. El diseño de este estudio se basó en este concepto.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

En la presente investigación, el estudio se delimitó al Reservorio R-2, por tanto, la población y la muestra se convierten en el universo; el cual se estudiará a través de una muestra no probabilística con un muestreo conveniente, el cual depende directamente de la voluntad y criterio del investigador, por cuanto supone un conocimiento objetivo de las características y propiedades de la población en estudio, que le da lugar a considerar las categorías o elementos representativos del fenómeno (Tamayo, 2004). De esta manera, comprendió el sistema del Reservorio R-2, y todos los fenómenos relacionados con los objetivos de la investigación.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica principal utilizada en la recolección de datos, fue la observación directa y documental, a través de la inspección del sistema y de la revisión estadística de los reportes e incidencias de operación en cuanto a los eventos operacionales relacionados con el nivel del reservorio que afecta la operación continua del servicio. Así mismo, recurrió a entrevistas no estructuradas con personal técnico profesional en el área de operaciones y procesos de los sistemas de control de los reservorios. Para ello, se emplearon como instrumentos, fichas de registro de datos o de observación (anexo 2 y 3) para materializar la información.

3.5 TÉCNICAS PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el actual estudio, las técnicas de procesamiento de datos corresponden a cuadros comparativos que comprenden la tabulación de resultados, libros de codificación que contempla la localización de las variables y los códigos atribuidos a los rasgos que representan, lo que permite dirigir el proceso de codificación y encontrar las variables para comprender los datos durante el análisis. Así mismo, se empleó el software de cálculo Microsoft Excel para el procesamiento de datos y generación de cuadros comparativos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Diagnóstico de la Operación Actual del Reservorio R-2

Parámetros de operación actual.

El trabajo que se realiza en el Reservorio R-2 es de forma manual, operando sin medidores de presión ni de caudal, con nivel de líquido entre 1.5 y 4.5 metros, medidos con una regla cubicada; para la apertura de las válvulas de ingreso se realizan de 3 a 4 vueltas, en tanto que su cierre, se efectúa entre $\frac{3}{4}$ a 1 vuelta en el dispositivo de salida; así el reservorio opera bajo los parámetros descritos en la tabla 2.

Tabla 2.

Parámetros de operación del Reservorio R-2

Parámetro	Descripción
Presión de trabajo	No tiene manómetro o macromedidor, por lo que no se pudo medir o leer.
Nivel de líquido de trabajo	Entre 1.5 y 4.5 m en regla cubicada.
Caudal de trabajo	No tiene macromedidor, por lo que no se pudo medir o leer.
Vueltas de apertura de válvula de ingreso	De 3 a 4 vueltas.
Cierre de válvula de ingreso	De $\frac{3}{4}$ a 1 vuelta.
Operación de dispositivos	De forma manual.

Fuente: Elaboración propia.

Filosofía de operación.

El Reservorio R-2 se apertura a las 6 am. mediante 3 a 4 vueltas de la válvula de ingreso; posteriormente, a las 6 pm. se reduce las vueltas a 1 vuelta. Este sistema no cuenta con elementos de control automático, como se puede observar en la figura 7, y se monitorea mediante una regla cubicada para medir el nivel de líquido en altura entre 1.5 y 4.5 m.

Así como se detalla en la tabla 3, se puede apreciar la descripción de los componentes del sistema hidráulico del Reservorio R-2 y, de igual modo, en la figura 7 se puede apreciar el diagrama de estos elementos, ubicándose en la parte superior todo lo relacionado a la cámara de válvulas, visto desde una perspectiva del tanque en tanto que, en la parte superior, se puede ver los elementos de la salida, donde se especifican sus características técnicas.

Tabla 3.

Componentes del sistema hidráulico actual del Reservorio R-2

Componente	Descripción
Tubería de ingreso 1	Diámetro Nominal (DN) 700 mm.
Tubería de ingreso 2	DN 500 mm.
Válvula mariposa de ingreso 1	DN 700 mm.
Válvula mariposa de ingreso 1 en cámara de válvulas	DN 700 mm.
Válvula de control de nivel de ingreso 1	DN 700 mm.
Válvula a mariposa de ingreso 2	DN 500 mm.
Válvula mariposa de ingreso 2 en cámara de válvulas	DN 500 mm.
Válvula de control de nivel de ingreso 1	DN 500 mm.
Tubería de salida 1	DN 400 mm.
Válvula de compuerta de salida 1	DN 400 mm.
Válvula de aire de salida 1	DN 400 mm.
Medidor electromagnético de salida 1	DN 400 mm. / Inoperativo
Tubería de salida 2	DN 500 mm.
Válvula de compuerta de salida 2	DN 500 mm.
Válvula de aire de salida 2	DN 500 mm.
Medidor electromagnético de salida 2	DN 500 mm. / Inoperativo
Tubería de salida 3	DN 500 mm.
Válvula de compuerta de salida 3	DN 500 mm.
Válvula de aire de salida 3	DN 500 mm.
Medidor electromagnético de salida 3	DN 500 mm. / inoperativo
Tubería de limpieza	DN 700 mm.
Válvula de compuerta de limpieza	DN 700 mm.
Medidor electromagnético de limpieza	DN 700 mm. / inoperativo

Fuente: Elaboración propia.

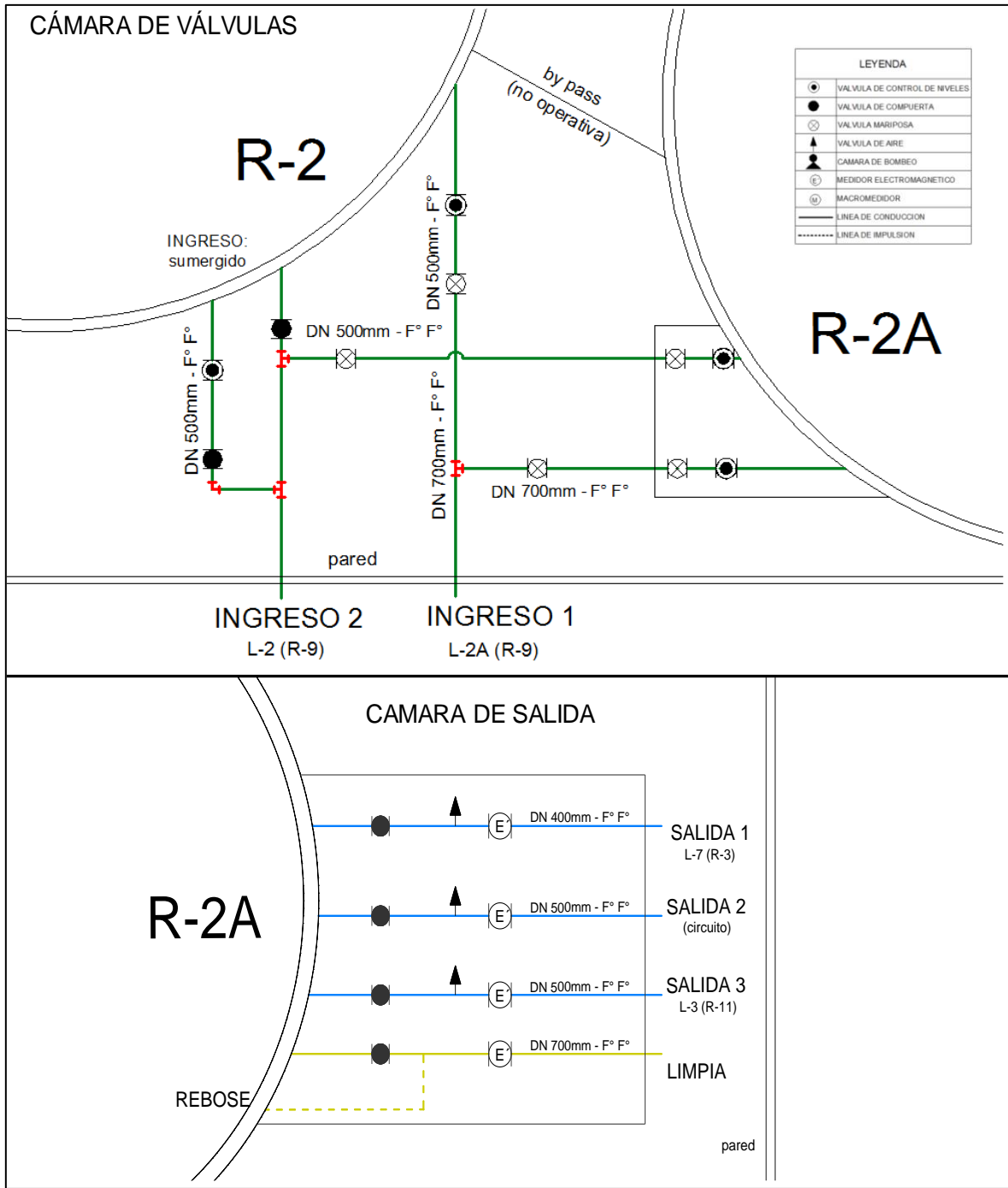


Figura 7. Esquema de la operación del Reservorio R-2.
Fuente: Elaboración propia.

El reservorio R-2, es considerado como sistema principal de abastecimiento de agua, puesto que se encarga de distribuir este servicio a sub sistemas (figura 8) que proveen a varios distritos de la zona, entre los que se encuentran José Luis Bustamante, Socabaya, Hunter, parte del Cercado y Tiabaya.

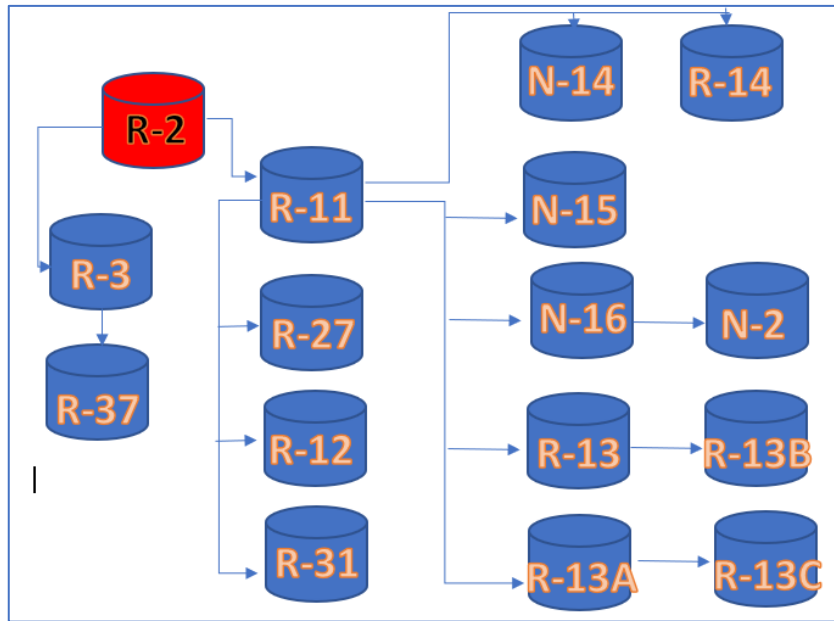


Figura 8. Esquema de distribución del reservorio R-2.
Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, el reservorio R-2 se encarga de abastecer la población que representan estos sectores como se describe en la tabla 4, alcanzando una cifra de 278 972 habitantes de acuerdo con censo del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018).

Tabla 4.

Población que abastece el reservorio R-2

Distrito	Población
José Luis Bustamante	81 829 habitantes
Socabaya	75 351 habitantes
Jacobo Hunter	50 164 habitantes
Cercado de Arequipa	55 437 habitantes
Tiabaya	16 191 habitantes
Total:	278 972 habitantes

Fuente: Elaboración propia con estadísticas de INEI (INEI, 2018).

Como se puede apreciar en la tabla 4, el reservorio R-2 abastece a 278 972 habitantes aproximadamente de la provincia de Arequipa, por lo cual se convierte en un sistema crítico, ya que, al presentar interrupciones por fallas de operación, afectará a toda la población descrita, exactamente el total de conexiones mostradas en la tabla 5. Es

importante resaltar, que el agua es considerada un recurso de vital importancia para el desarrollo del ser humano y la salud.

Tabla 5.

Cantidad de conexiones que suministra el reservorio R-2

Reservorio	Conexiones (usuarios)
R-2	14 161
R-3	16 388
R-37	414
R-11	6 162
R-27	420
R-12	2 624
R-31	895
R-14	1 432
N-14	4 806
N-15	2 634
N-16	3 091
N-2	1 205
R-13	5 030
R-13B	855
R-13A	4 856
R-13C	552

Fuente: Elaboración propia.

Operación y mantenimiento del reservorio R-2.

A. Personal

Para mantener en operación, monitoreo y realizar las actividades de mantenimiento adecuado en el reservorio R-2, se cuenta con el siguiente personal:

- 1 técnico de mantenimiento encargado.
- 1 operador técnico de mantenimiento.
- 1 auxiliar de mantenimiento.

B. Actividades generales

Las actividades necesarias que se llevan a cabo por parte del personal descrito a fin de mantener el funcionamiento del tanque, consisten en lo siguiente:

- A las 7 am. se hace el ingreso.
- Se verifica alturas de reservorios con la regla cubicada que tiene.
- Se manipula válvula de ingreso para tener un caudal constante y así poder mantener con una buena altura el reservorio y no perder presión.
- Se mide el cloro del reservorio con el colorímetro en un rango de 0.5 y 0.9 de cloro en agua, en el caso de que este que esté por debajo de 0.5 o por encima de los 0.9 se comunica a la planta de producción para que aumenten o disminuyan la cloración.
- Se realiza mantenimiento de limpieza y orden de instalaciones.
- Alrededor de las 12:00 horas, se realiza cierre o apertura de válvula de ingreso según la necesidad y altura de reservorio.
- Se lubrica válvulas de ingreso, salida, bypass, limpia para una óptima manipulación.
- Se informa constantemente sobre faltas de agua a call center para dar solución a las incidencias tempranas (protocolos de comunicación y operación).
- A las 7 pm. se realiza el cambio de turno con el compañero que reemplaza.
- Cada 4 meses se realiza la limpieza y desinfección de reservorio r-2, para lo cual se hace el detalle de la actividad.

C. Protocolos de comunicación y operación

C.1. Protocolo de comunicación y operación de operador ante reportes de alerta de desabastecimiento en reservorio R-2.

- I) Call Center comunica mediante reporte la alerta de falta de agua.
- II) Con este parte se va a la zona y se verifica el área de desabastecimiento a fin de determinar:
 - Falta de agua puntual que para tal caso se comunica a la oficina de Conexiones Domiciliarias.
 - Falta de agua en pequeña o mediana zona de abastecimiento que se comunica a la oficina de Redes, oficina de Operación y Almacenamiento, Purga de Grifos contra Incendio y el grupo de Mantenimiento de Reguladoras verifica que si es un problema de válvulas reguladoras de presión.

- Cuando la zona es grande y corresponde al total de circuito, se toma la altura de reservorios y según eso se procede con las siguientes medidas:
 - a) Verificación de la válvula de control de medidor.
 - b) Verificación de la válvula de ingreso a reservorio.
 - c) Purga de grifos contra incendio.
 - d) Verificación de presiones en los puntos más relevantes del circuito.
- III) Se reporta las acciones correctivas al Call Center para su posterior comunicación a la oficina de Imagen Institucional.

C.2. Protocolo de atención con unidades cisternas.

- I) Se toma en cuenta el protocolo anterior.
- II) Se toma nota del área desabastecida.
- III) Se calcula el requerimiento de agua para la población desabastecida con el fin de evaluar el número de cisternas requeridas para el abastecimiento.
- IV) Se coordina con los dirigentes vecinales para fijar el punto de abastecimiento y el recorrido con las cisternas.
- V) Se reporta al Call center las acciones tomadas y toda labor se hace en coordinación con el departamento de Imagen Institucional.

C.3. Protocolo de comunicación al departamento de Imagen Institucional para difusión a la población.

- I) Se toma nota de la incidencia registrada en el Call center.
- II) Se coordina con el departamento de imagen institucional la incidencia correspondiente.
- III) Según la magnitud de la incidencia, se determina el envío de cisternas para desabastecimiento temporal y otra medida correctiva.
- IV) Se coordina con el departamento de imagen la difusión de la incidencia por los medios de comunicación.
- V) Se comunica al Call Center las acciones tomadas.

D. Procedimientos de mantenimiento

D.1. Base legal.

Directiva 180-97 02 de mayo de 1997 “sobre propagación de enfermedades infecto contagiosas”

Ítem 5.1.3. “Programa anual de limpieza y desinfección de reservorios y las purgas en las redes de abastecimiento de agua potable por lo menos dos veces al año”.

Por esta directiva a más tardar el 31 de enero del año en curso, de debe entregar la SUNASS el programa anual de limpieza y desinfección de reservorios.

D.2. Procedimientos de limpieza, desinfección y purgado del R-2

Estos procedimientos se realizan de acuerdo con el diagrama de flujo de las figuras 9 y 10 (memoria fotográfica anexo 4).

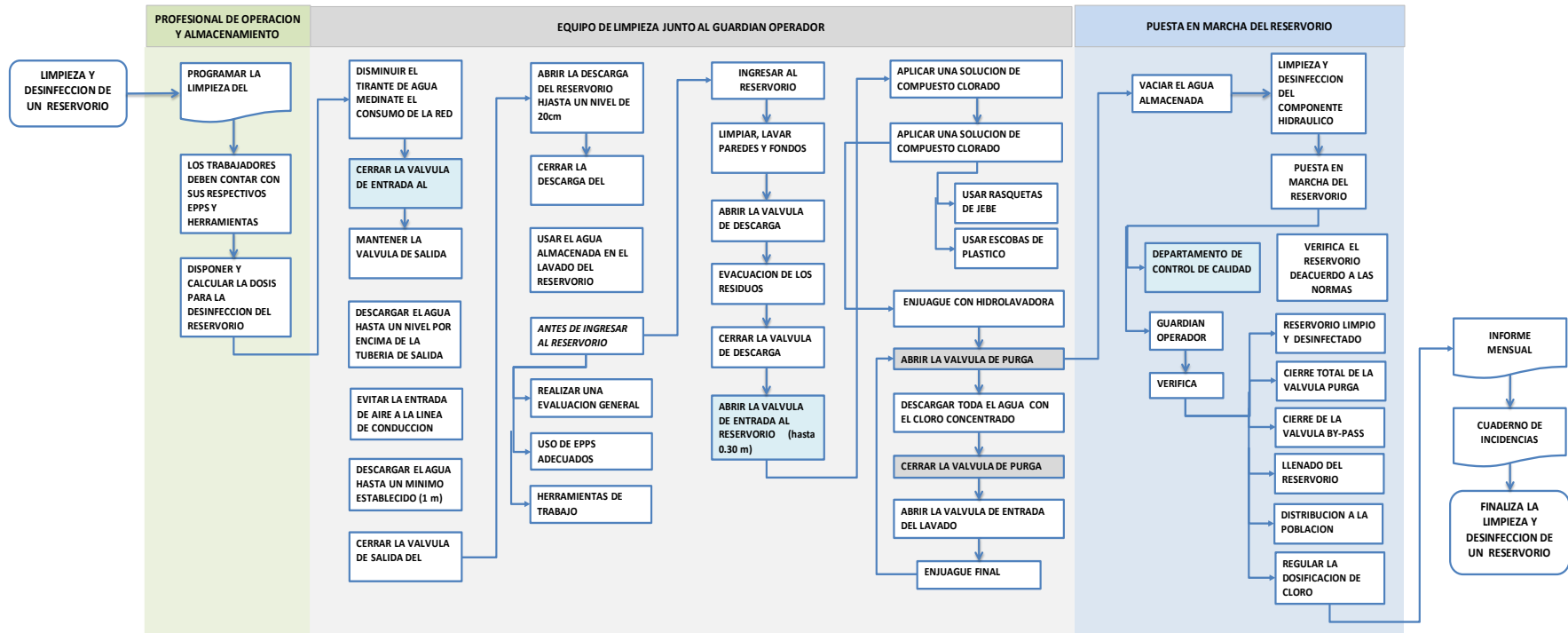


Figura 9. Diagrama de procedimiento de limpieza y desinfección de reservorio.
Fuente: Elaboración propia.

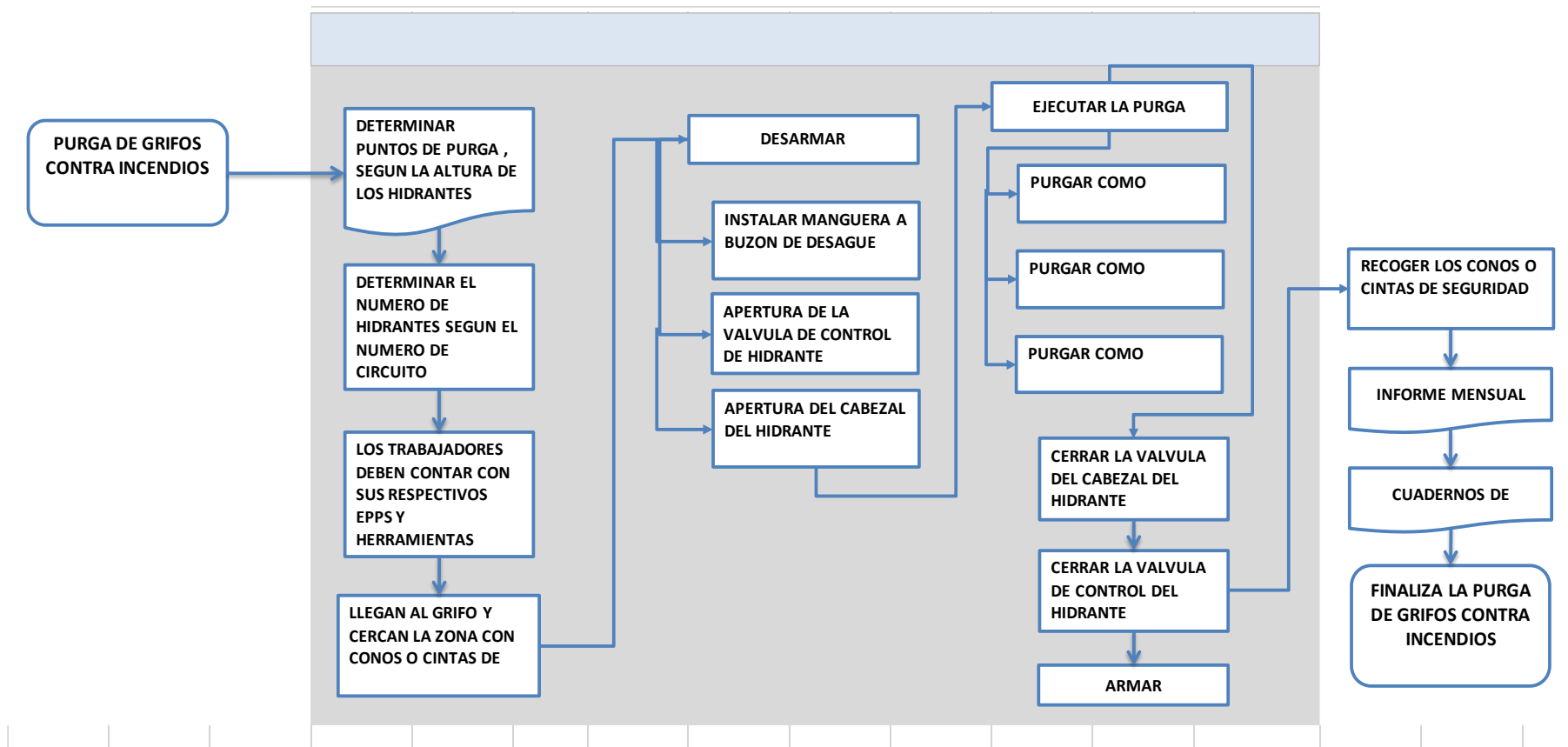


Figura 10. Diagrama de procedimiento de purga de grifos contra incendio.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Factores que Inciden en la Presencia de Fallos Operacionales en el Reservorio R-2

Una vez analizada la filosofía bajo la cual opera el Reservorio R-2 y sus componentes actuales, se pudo identificar las principales fallas con sus respectivas causas – efectos, como se pudo registrar en el anexo 2; las cuales influyen en la operación adecuada de este sistema. Esto se realizó como un pequeño análisis, tomando como referencia la metodología del modo y efecto de fallas (AMEF). Las principales fallas generadas en el reservorio relacionadas con los dispositivos de control como válvulas, medidores e indicadores, se tomaron de acuerdo con las estadísticas de los reportes del área de mantenimiento de esta manera, en la tabla 6 se resumen los factores que inciden en las fallas operacionales del Reservorio R-2, lo que proporcionará un mejor enfoque para la propuesta de implementación.

Tabla 6.

Fallos operacionales que inciden en la operación del Reservorio R-2

Tipo de fallo operacional	Ubicación	Factor o causa	Incidencia/ frecuencia
Rebose de reservorio	Miraflores - Arequipa	Falta de monitoreo	Daños a las instalaciones y pérdidas de agua, posibles denuncias de usuario si es muy fuerte /aprox. 3 veces al año
Caída de obturador de válvula en ingreso	Ingresos de reservorio	Falta de mantenimiento y control	Desabastecimiento de reservorio/ aprox. 4 veces al año
Caída de obturador de válvula en salida	Salidas de reservorio	Falta de mantenimiento y control	Desabastecimiento para usuarios aprox. 4 veces al año
No presentar ingreso a reservorio	Ingresos de reservorio	No hay producción en planta de producción	No brindar servicio de agua a la población/ aprox. 2 veces al año
Bajo caudal en ingreso a reservorio	Ingresos de reservorio	Poca producción o incidente de rotura en línea de conducción a reservorio	No brindar servicio de agua a la población/ aprox. 2 veces al año

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la información de la tabla 6, se realizó un análisis de priorización de Pareto, obteniéndose la figura 11, donde se puede apreciar la frecuencia anual de ocurrencia de las fallas representadas por las barras azules y la representación en porcentaje acumulado de las mismas. En el diagrama, se observa que la mayor incidencia está relacionada con el obturador de válvulas de ingresos y salidas, así como con rebose del tanque, todo lo cual puede mitigarse a través de un correcto monitoreo y control de nivel automático que indica la cantidad de líquido dentro del tanque, lo que permite la toma de decisiones en cuanto acciones para llenado o vaciado. No obstante, la mayor acumulación se da entre la falla de rebose y alimentación inadecuada al reservorio. Por cualquiera de las partes, todo conlleva a un adecuado sistema de control y monitoreo del Reservorio R-2.

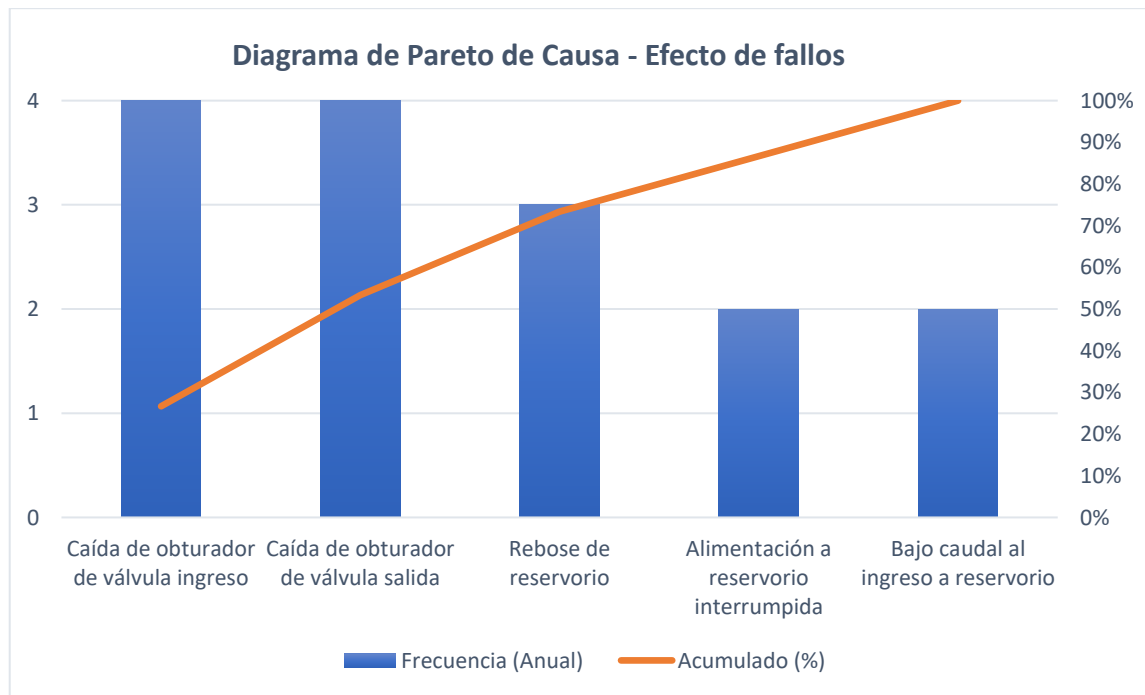


Figura 11. Diagrama de Pareto de las causas de los fallos operacionales.
Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, el diagrama de Pareto de la figura 11, muestra las causas principales relacionadas con el control de nivel del reservorio en la frecuencia anual de ocurrencia de las mismas, y su respectivo acumulado como muestra la curva de color rojo, donde se puede notar que las causas más representativas del 80 % corresponden a la caída del obturador de las válvulas de salida e ingreso y el rebose del reservorio, las cuales se asocian indirectamente con el control de nivel del mismo.

A partir de las causas más representativas mostradas en la paretización, se analizaron las causas mediante los diagramas de Ishikawa de las figuras 12 y 13, a partir de los cuales se pudo determinar que la causa raíz de ambos problemas se relaciona con la falta de elementos de control de nivel y flujo como pueden ser sensores y medidores.

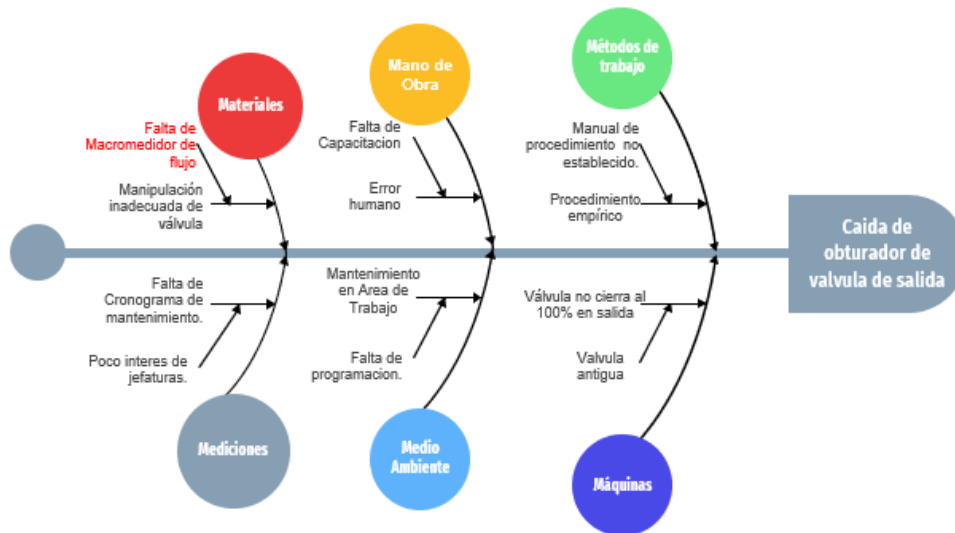


Figura 12. Diagrama causa efecto de la caída de obturador de válvula de salida.
Fuente: Elaboración propia.

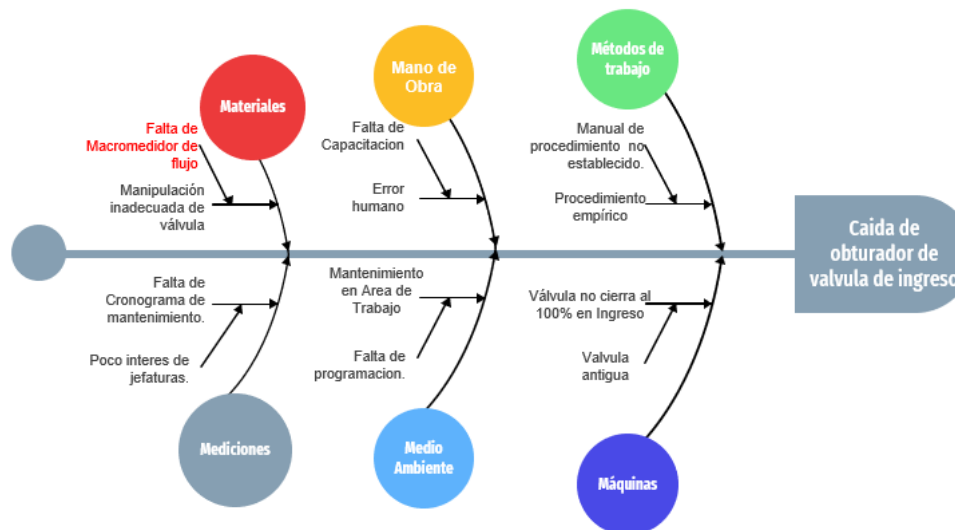


Figura 13. Diagrama causa efecto de la caída de obturador de válvula de ingreso.
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al problema de rebose de reservorio, se determinó que la causa raíz del problema es la falta de sensor de nivel, tal como se aprecia en el diagrama de Ishikawa de la figura 14.

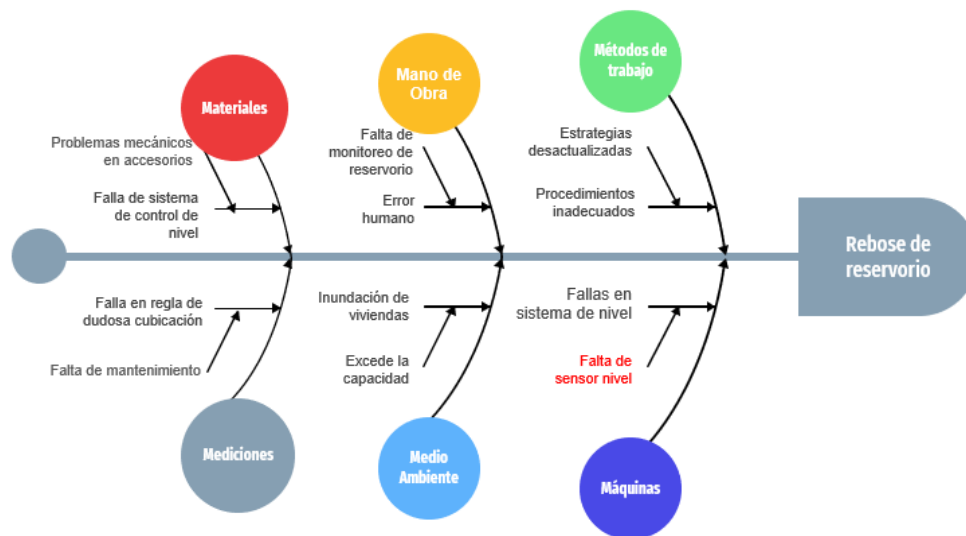


Figura 14. Diagrama causa efecto del rebose de reservorio.
Fuente: Elaboración propia.

A partir del análisis de las causas – efectos mostrados en la paretización y los diagramas de Ishikawa, es posible decir que la solución del problema, se orienta a elementos de control y monitoreo de nivel y flujo, por tanto, la propuesta del presente estudio adquiere justificación técnica razonable, la cual es evaluada en el apartado 4.1.4.

4.1.3 Arquitectura operacional del sistema para la implementación de un sensor de nivel con macromedidor en el Reservorio R-2

Para desarrollar el diseño de la arquitectura operacional necesaria para la implementación de un control automático y monitoreo de nivel en el Reservorio R-2, se proponen tres aspectos fundamentales: el tipo de sistema, los componentes requeridos y la arquitectura de operación.

Tipo de sistema.

Para monitorear y controlar el nivel de líquido en el Reservorio R-2, se propone implementar un sistema por telemetría, con el cual están funcionando otros reservorios bajo la administración del operador de servicio. El sistema de telemetría, monitorización y control, son sistemas electrónicos integrados capaces de almacenar información remota de diferentes parámetros como nivel, caudal, presión, entre otras, mediante sensores dentro de un entorno, para su posterior verificación y análisis; tras lo cual se pueden realizar acciones de forma automática predefinida o, mediante la acción manual. Una representación gráfica de este sistema, se puede ver en la figura 15 y con la interacción de

un macromedidor de flujo aguas abajo del reservorio se tendría algo similar a la figura 16. Además, vale señalar que este sistema es el implementado actualmente para monitorear otros reservorios de la compañía, por lo cual se toma de referencia ya que se incluirá en el mismo sistema.

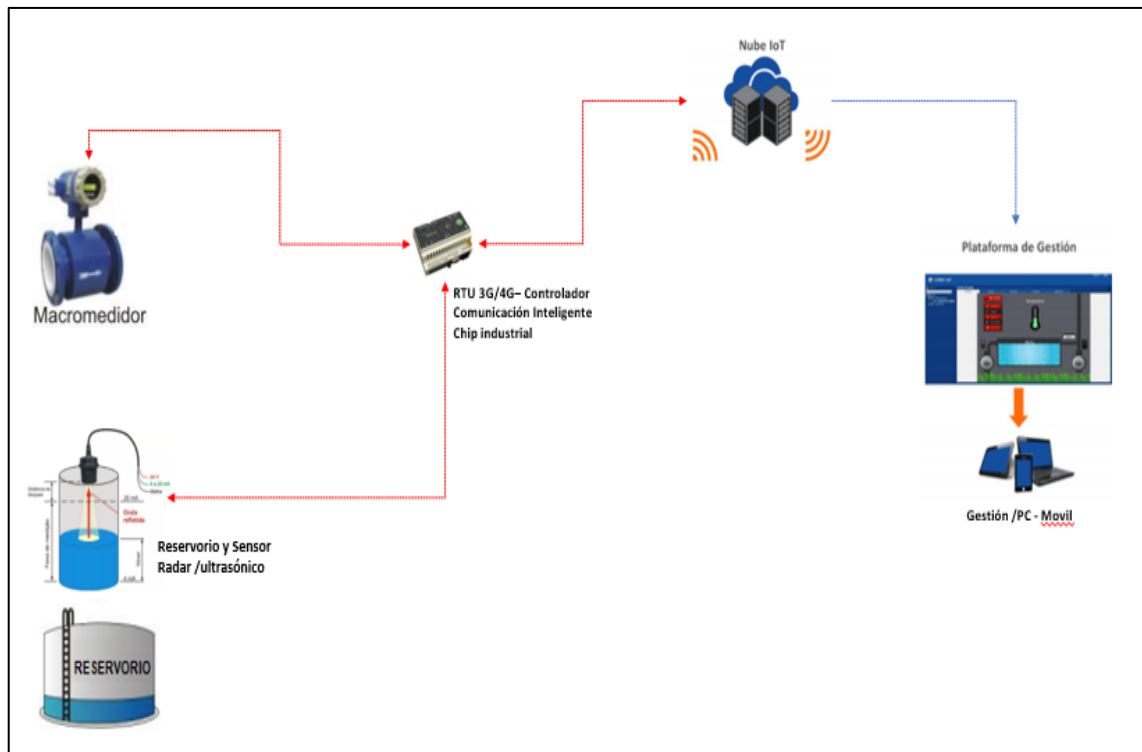


Figura 15. Esquema gráfico general de un sistema de telemetría
Fuente: Elaboración propia.

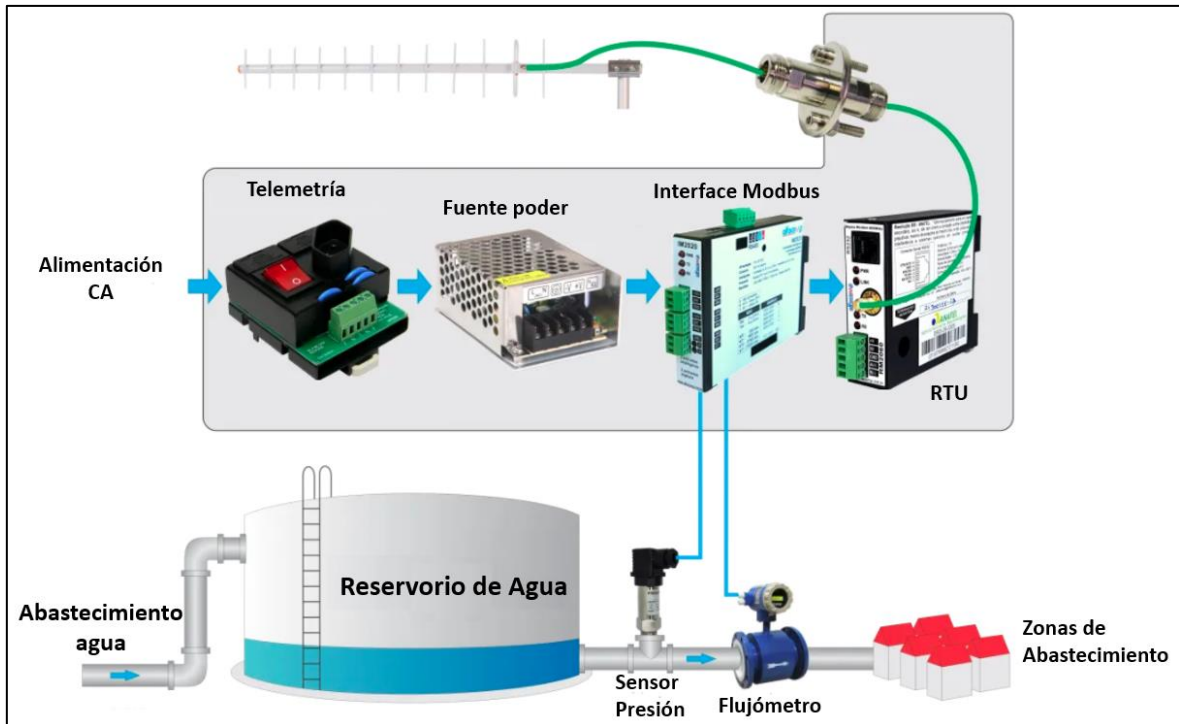


Figura 16. Esquema general del sistema de telemetría con integración del macromedidor.
Fuente: Elaboración propia.

Componentes requeridos para el sistema de telemetría.

- Sensor de radar para nivel de líquido o sensor de presión.
- Macromedidor de flujo
- Unidad de Terminal Remoto (RTU).
- Plataforma de conexión a red LoT.
- Comunicación GPRS 3G.
- Controlador Lógico Programable (PLC).

Arquitectura del sistema.

- a. Automatización del sistema (hardware).

La arquitectura para la automatización viene representada según el esquema de la figura 17.

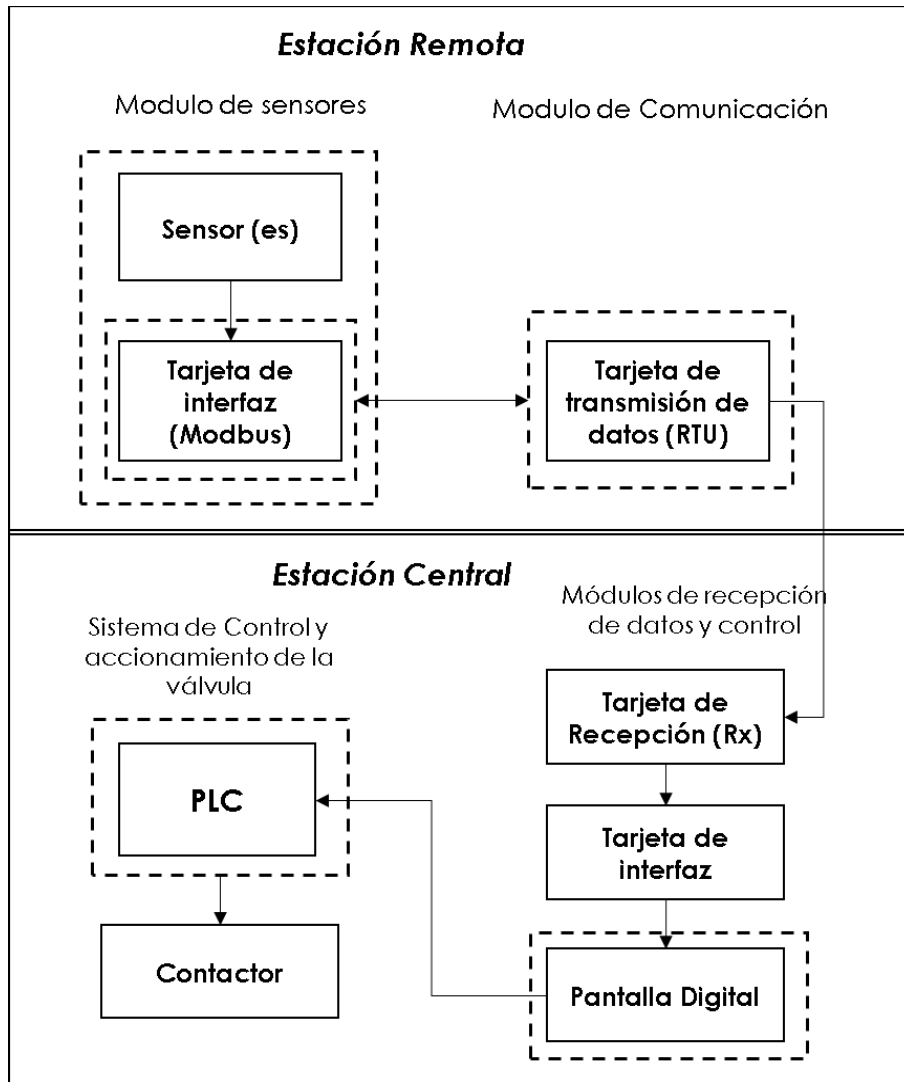


Figura 17. Arquitectura para el sistema de automatización y control en el R-2
Fuente: Elaboración propia.

b. Sensor del nivel

Sensor radar para integración en sistemas de telemetría. Este tipo de sensor se basa en la emisión de ondas electromagnéticas a intervalos de rayos X (10 GHz). El sensor se instala en la parte superior del depósito y envía microondas a la superficie del agua. Parte de la energía transferida, se refleja en la superficie del líquido y el sensor la registra. Un ejemplo de este tipo de sensor se muestra en la figura 18 y su montaje en el depósito se muestra en la figura 19.



Figura 18. Modelo de sensor de radar marca Vea
Fuente: Tomado de página web (<https://www.vega.com/en-us/radar>)

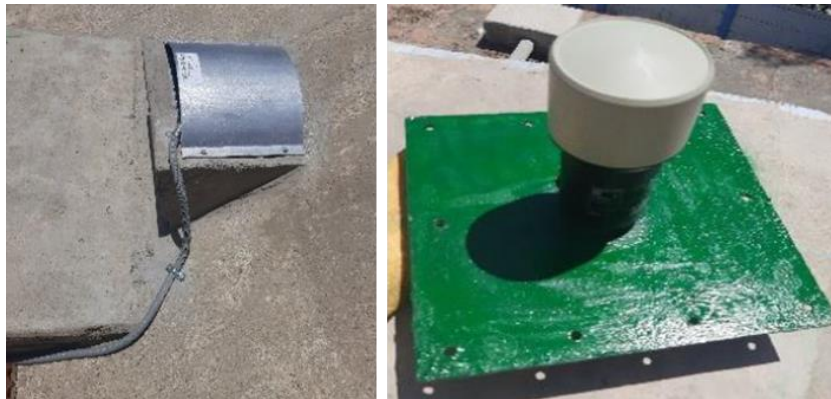


Figura 19. Sensor de radar Vega instalado en Reservoirio
Fuente: Elaboración propia.

Al actualizar continuamente la señal recibida, el microprocesador integrado en el sensor, calcula el valor medio para medir el nivel del líquido; de esta forma, el microprocesador convierte la media en una señal analógica de 4 a 20mA, proporcional al nivel del líquido. Si el eco de nivel no regresa al sensor en 8 segundos, la salida del sistema estará por debajo de 4 mA, lo que indicara un nivel bajo o una tubería vacía. Con un sensor de punto, el microprocesador compara la media con la configuración del interruptor BCD y enciende el relé de salida para indicar niveles altos o bajos. Una pérdida de señal de más de 8 segundos desactiva el relé y lo devuelve a su estado original. Los dispositivos electrónicos tienen un retardo incorporado de 0,5 segundos que minimiza los efectos superficiales de las turbulencias.

c. Sensor de presión

El sensor de presión tiene la capacidad de convertir cantidades físicas en cantidades eléctricas. En este caso, la fuerza por unidad de área se convierte en el voltaje correspondiente a la presión aplicada. Los sensores de presión utilizados en el proyecto son de las marcas Vega y Krohne, como se muestra en las figuras 20 y 21.



Figura 20. Modelo de sensor de presión Vega Krohne.

Fuente: Tomado de página web (<https://www.vega.com/en-us/radar>).



Figura 21. Sensores de presión Vega Krohne instalado en reservorio.

Fuente: Elaboración propia.

d. Integración de Macro medidores en el sistema hidráulico

El proceso de bombeo de agua potable, consiste en impulsar agua de un punto bajo hacia un punto elevado, se utiliza un motor eléctrico el cual impulsa el agua por intermedio de unas tuberías llamadas línea de impulsión, dependiendo de la potencia del motor se determina el volumen de impulsión.

En SEDAPAR S.A. las bombas de impulsión son eléctricas por su alto rendimiento, las potencias de las bombas varían dependiendo del número de clientes que serán beneficiados con el abastecimiento, se tiene bombas que van desde los 25 HP hasta los 120 HP de potencia, mostradas en la figura 22. La función de un macro medidor en este sistema, es la de almacenar el flujo que agua que se está pasando por una tubería de agua, la unidad de medida es m3.



Figura 22. Cámara de bombeo del reservorio R-2 para macro – medidor.

Fuente: Elaboración propia.

e. BconnectRTU

La RTU se comporta como un dispositivo electrónico que controla un cierto número de entradas y salidas y las envía a un sistema de control superior, por lo general, al PLC. En este caso, recolecta la información del sistema de telemetría directamente de los sensores/medidores del reservorio. Procesan la información y la transmite a la estación central a través de una red como ModBus. La RTU a utilizar en el proyecto, son los de la marca Bacsoft (figura 23).

Tabla 7.

Características técnicas del PLC S7-1200 Siemens

Característica	Unidades
Memoria de Usuario	100kb de trabajo 4mb de carga 10kb remanente
E/S integradas Local	14E/10S (Discretas) 2E/2S (Analógicas)
Puertos PROFINET	2 Ethernet
Conectores rápido (HSC)	6
Generadores de impulsos	4
CPU	S7-1214C C/DC/RLY

Así mismo, la secuencia de ejecución lógica del PLC, se muestra en la figura 25.

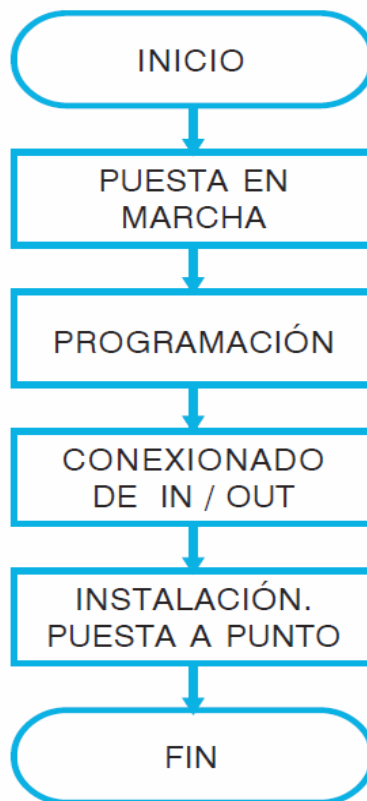


Figura 25. Secuencia lógica de ejecución del PLC.

Fuente: Elaboración propia.

- g. Sistema de supervisión, control y automatización SCADA para implementación del sensor

El Sistema de Supervisión, Control y Automatización, será concebido con los avances tecnológicos a la fecha del diseño. El Sistema tendrá estaciones remotas con controladores lógicos programables con lógica local y paneles táctiles de interfaz, desde donde es posible Supervisar y controlar los equipos e instrumentos ligados a la parte del proceso que el PLC controla, sin que el sistema central pierda control del proceso total, manteniendo un sistema jerárquico en su estructura. De esta manera, las características de la estación remota a automatizar se ven en la tabla 8.

Tabla 8.

Estación remota a automatizar

Elemento	Descripción
Ítem	2
Nombre	R-2
Reservorio	Distribución
Tipo	Apoyado
Forma	Circular
Coordenada x (este) m	230756.40
Coordenada y (norte) m	8185666.70

Fuente: Elaboración propia.

La filosofía de funcionamiento del sistema SCADA, se describe a continuación:

- Estándar abierto para una integración sencilla: Los PLC tendrán la capacidad de integrar equipos de campo a través del protocolo Profibus, así como también por intermedio de sus entradas de 4 a 20 mA y entradas y salidas digitales 24VDC, los transmisores de Caudal se comunicarán mediante el protocolo HART, para el presente proyecto los PLC estarán implementados para que estos reporten hacia una maestra (SCADA de la PTAP) en protocolo MODBUS TCP.
- Las funciones HMI integradas: Funciones HMI aptas para la industria forman parte de la dotación básica del sistema:
 - Visualización totalmente gráfica de las secuencias y el estado de los procesos.

- Control del equipo o la instalación mediante una interfaz de usuario que puede personalizarse con menús y barras de herramientas exclusivos.
- Señalización y verificación de incidentes.
- Registro de valores medidos y alarmas en una base de datos para el procedimiento.
- Registro de los datos de archivo capturados y de los datos actuales del proceso.
- Manejo de usuarios y sus permisos de acceso.
- Fuentes de alimentación: El tablero rectificador contará con una fuente de alimentación estabilizada, que ofrecerá una tensión de salida a 24 VDC para la alimentación de los componentes de automatización.
- Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS): El tablero rectificador contará con un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS) con una autonomía de 8 horas para mantener los equipos de automatización y comunicaciones, entrando en funcionamiento en caso de producirse una falla en el sistema eléctrico y que este no afecte a la supervisión de la estación.

h. Arquitectura de la plataforma LoT

Las plataformas IoT, son las piezas de software que permiten conectar equipos industriales, sensores, actuadores y dispositivos en un entorno digital, creando una red para que puedan interactuar y producir datos útiles. Esta debe tener las siguientes características:

- El Sistema tiene la capacidad de manejar directamente protocolos de comunicación abiertos tales como Modbus (TCP o Serial), los cuales son nativos para el software del Sistema, es decir, tiene la capacidad de comunicarse directamente con IEOs (PLCs, Medidores, Etc.) sin necesidad del uso de interfaces ni convertidores de protocolos.
- El Sistema tiene la capacidad de sincronizar su tiempo con un sistema estándar de tiempo (Reloj GPS).
 - El Sistema es capaz de utilizar diversos medios de transmisión alámbricos e inalámbricos, como la tecnología celular GSM/GPRS/EDGE, Internet ADSL/DSL, fibra óptica, onda portadora, par trenzado, microondas, conexión telefónica y WLAN.
- La definición de cada línea de comunicación se realiza con el SCADA Explorer, permitiendo configurar el protocolo de comunicación, los parámetros de línea y

enlace, el número de puerto y otros relevantes de manera fácil, como se muestra a continuación.

- Verificación de límites: El sistema SCADA Survalent, compara cada valor analógico contra un sistema de tres límites altos predefinidos y modificables por el operador y tres límites bajos especificados por separado para cada punto analógico en la base de datos antes de realizar un barrido o cálculo. Estos tres (3) restricciones son:

- 1) Límites altos y bajos de "Pre-Emergencia" (HI y LO): un valor fuera de uno de estos límites significa que la medida analógica ha sobrepasado sus límites de emergencia aconsejados.
- 2) Límites altos y bajos de "Emergencia" (HIHI y LOLO): una lectura fuera de cualquiera de estos límites muestra que la medición analógica se encuentra en estado de emergencia interpretándose "emergencia" como más grave por haber superado el nivel de pre - emergencia.
- 3) Límites altos y bajos "Irracionales" (HIHIHI y LOLOLO): una lectura fuera de uno de estos límites indica que la medida analógica se encuentra en un estado irracional, entendiendo por "irracional" algo más grave por haber superado el nivel de emergencia.

Las alertas apropiadas sonarán si se encuentra que el límite ha sido violado. Cuando la condición que causó la alerta de violación del límite vuelva a la normalidad, también se activará una alarma de vuelta a la normalidad. Los datos analógicos que se han recuperado de una alarma de límite irracional todavía pueden estar en el estado de alarma de límite de emergencia y/o en el estado de alarma de límite de pre-emergencia porque el sistema trata cada uno de los tres límites de alarma descritos anteriormente de forma individual.

El Sistema provee la función de banda muerta (deadband) para el procesamiento de la alarma de retorno a normal. Las bandas muertas, podrán ser asignables en forma individual por SEDAPAR para cada uno de los tres límites indicados anteriormente de cada punto analógico de la base de datos.

- Secuencia de eventos: El sistema SCADA Survalent, tiene la función de almacenamiento de datos de secuencia de eventos (SOE) para eventos reportados como tales por los CDS/RTUs. Estos datos son recolectados con una estampa de tiempo con resolución a nivel de milisegundos,

conteniendo la información del momento de ocurrencia, identificación, descripción del evento, valor y unidad de ingeniería si el dato que registra es analógico.

Los datos SOE obtenidos son almacenados en orden cronológico. El formato de estos datos facilita el reporte y/o el despliegue de dichos eventos en formato gráfico.

La estación maestra del sistema SCADA Survalent tiene la capacidad de desempeñar la sincronización de tiempo de las ER's equipadas con SOE y, proporcionar una lista de eventos SOE ordenados cronológicamente o inversamente cronológica: Esta lista puede ser visualizada mediante la herramienta "SOE Viewer" o en la Interfase Gráfica y puede ser utilizada por los operadores al cambio de un turno. La herramienta incorpora criterios de selección y opción de impresión.

- Cálculos: La función de cálculos del sistema SCADA permite recuperar datos extraídos de puntos de campo, puntos calculados o datos introducidos directamente por el operador. A continuación se presentan dos definiciones de diferentes tipos de cálculo.

Cálculos regulares. Para crearlos se utiliza el Editor de Cálculos del módulo de edición de bases de datos Scada Explorer. Periódicamente, en un momento fijado por el usuario, se realiza el cálculo de un punto determinado. Un código de función define cada cálculo, que puede tener hasta siete parámetros. (Véase la figura siguiente). Los parámetros pueden ser puntos analógicos, puntos de estado o valores numéricos fijos, dependiendo de la función:

- Algunos factores pueden funcionar como entradas, otros como salidas y otras como ambas cosas.
- Los parámetros pueden ser puntos analógicos, puntos de estado o valores numéricos fijos.
- Puede haber parámetros opcionales.

El sistema SCADA Survalent admite cálculos del tipo entero, real y mixto. Programación mediante Secuencia de Comandos. Sequencing, que permite definir y ejecutar programas tomadas de la base de datos SCADA como variables. Puede ejecutar controles en bucle cerrado, secuencias de control en bucle abierto y algoritmos de cálculo. Algunos ejemplos son la reconexión del suministro y las transferencias de carga en una red anillada.

El editor de scripts se utiliza para modificar y compilar el código fuente de un programa. Desde este editor se puede lanzar y detener un programa. También se puede definir el cambio de estado de un punto de estado para iniciar inmediatamente una secuencia de comandos. Las siguientes características se aplican al lenguaje de Secuencia de Comandos:

- Expresiones booleanas y aritméticas.
- Análisis de fórmulas matemáticas y booleanas.
- Funciones circulares, exponenciales y logarítmicas.

Funciones como mínimo, máximo, valor absoluto y exponente

- Herramienta de conteo de tiempo.
- Analogías y evaluaciones.
- Bifurcaciones hacia delante o hacia atrás basadas en etiquetas.
- La instrucción de retardo hace que el script espere durante un tiempo predeterminado.
- Capacidad para transmitir valores de consigna y ajustes.
- Capacidad de emitir alertas.
- Variables temporales ilimitadas para cada serie de comandos.
- 5 factores constantes (se mantienen después de reiniciar el sistema).
- Agrupaciones de valores numéricos y nombres de puntos.
- Observaciones.
- Capacidad de invocar subrutinas de otras secuencias de comandos.
- Plantillas de subrutinas que permiten definir valores de entrada y salida. Para crear fórmulas complejas de ejecución periódica, pueden referenciarse con el editor de cálculos periódicos.
- Una matriz de consulta para un conjunto de datos bidimensional.
- Añadir etiqueta a un punto de estado mediante el comando tag.
- Solicitud de informe.
- Establecer alarmas analógicas con límites.

Vigilancia de las comunicaciones. ScanMon es la herramienta incluida en el sistema SCADA de Survalent, permite vigilar el funcionamiento de barrido de las líneas de comunicaciones utilizando el protocolo adecuado. Esta herramienta le permitirá vigilar las comunicaciones que envían y reciben los controladores/RTUs, IEOs y servidores COES.

El los servidores del sistema, se pueden guardar archivos de texto que contengan el registro de seguimiento de cada línea de comunicación para el mantenimiento del sistema.

El ingreso será mediante un usuario, contraseña - cliente en la plataforma de Bacsoft como muestra la figura 26.



Figura 26. Interfaz de acceso remoto al sistema de monitoreo del Reservorio.
Fuente: Elaboración propia.

Este sistema lo integran el hardware (sensores de nivel radar o ultrasónico), software (Software Bacsoft para sistema de telemetría), conectividad (desde el hardware a la nube) y la interfaz de acceso, es decir, una vez ingresado el reservorio con su nivel en metros, capacidad total, altura de rebose que fueron previamente configuradas como muestra la figura 27.

Por otro lado, también se podrá ver la gráfica del nivel de agua del reservorio hasta de 5 días anteriores, lo cual es de vital importancia para saber el comportamiento del reservorio, como se ilustra en la figura 28.

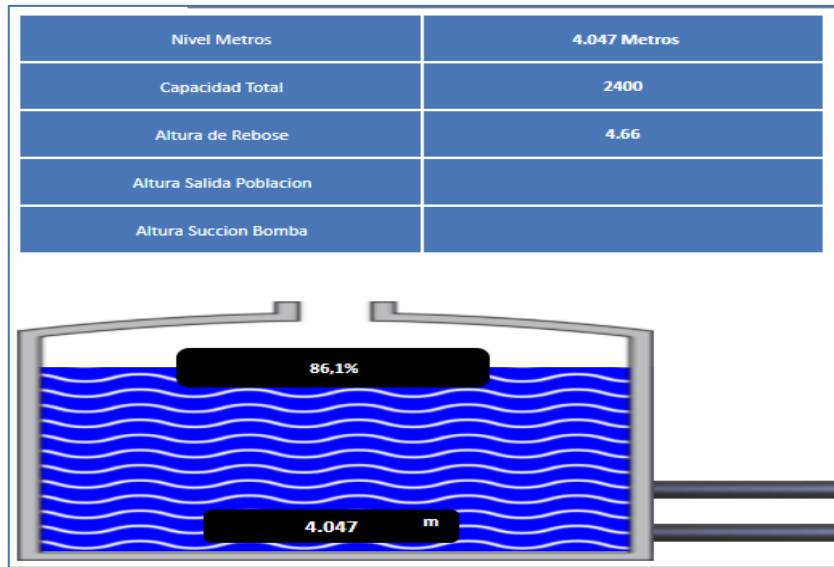


Figura 27. Interfaz de monitoreo de niveles y capacidad del reservorio.
Fuente: Elaboración propia.

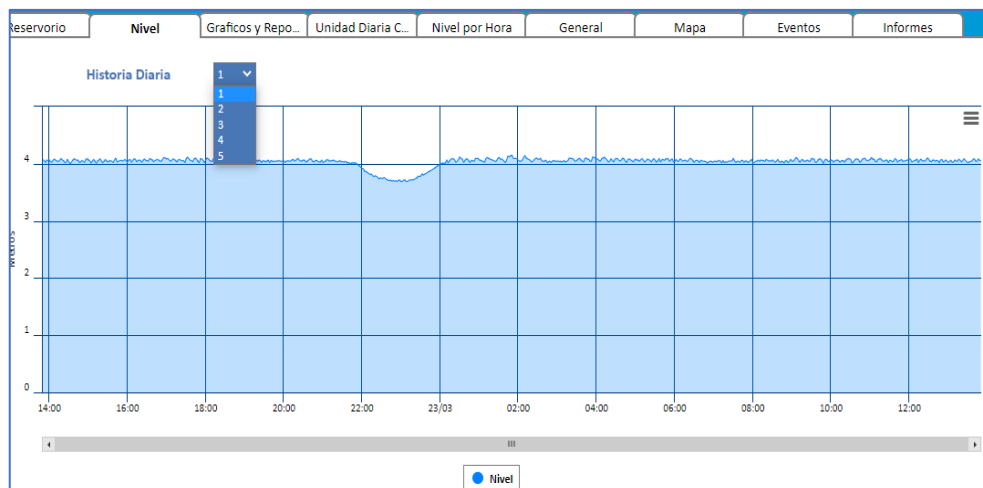


Figura 28. Interfaz gráfica de monitoreo del nivel reservorio.
Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, se podrá generar reportes y gráficas de fechas anteriores, como se visualiza en la figura 29.

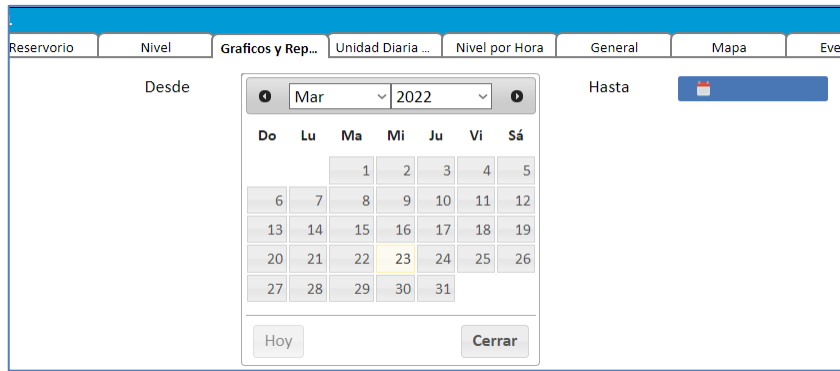


Figura 29. Interfaz de monitoreo del reservorio según calendario.
Fuente: Elaboración propia.

También podremos ver los datos generales del reservorio como muestra la figura 30.

Reservorio	Nivel	Graficos y Rep...	Unidad Diaria ...	Nivel por Hora	General
Lista de registros					
Descripción					Valor
DATOS DEL RESERVORIO					
Capacidad Total					2400
Altura de Rebose					4,66
Altura Salida Poblacion					***
Altura succion Bomba					***
Nivel Porcentaje					85,938 %
Nivel					4,092 m
Energia					Baterias
Analog Fields					
Analog 2 (RAW)					17,667 ma
BConnect Fields					
Temperatura de Módulo					59
Nivel de Señal					21
Razon de Reinicio					Reconnect No Reset
Unidad Conectada					Connected
Ultima Comunicación					23/03/22 14:09:45
Reconexiones de la Unidad					0

Figura 30. Interfaz de monitoreo de datos generales del reservorio.
Fuente: Elaboración propia.

La arquitectural LoT también permite generar reportes en diferentes formatos y ver la ubicación en estilo navegación satelital, como se muestran en las figuras 31 y 32; así como visualizar el sistema de monitoreo desde un teléfono móvil desde cualquier navegador, solo ingresando los parámetros correspondientes.

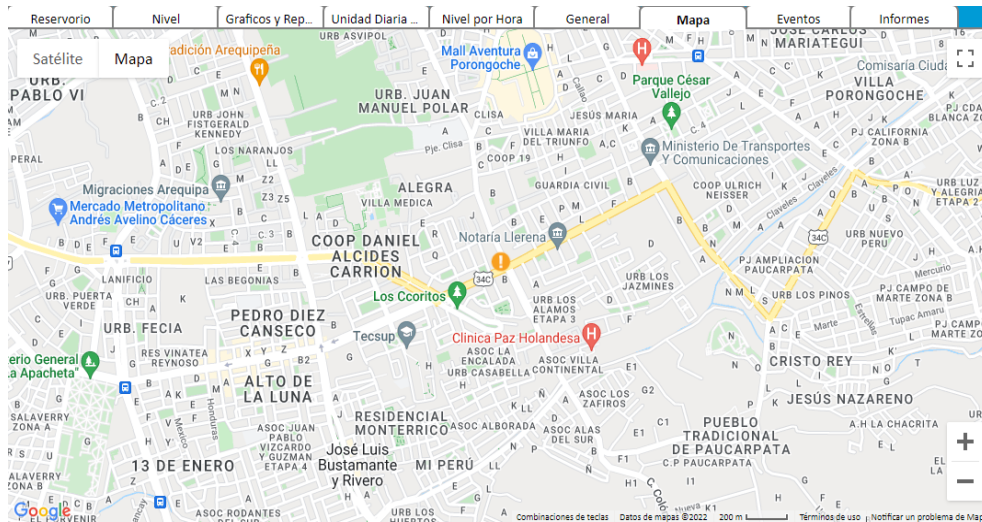


Figura 31. Interfaz de visualización de ubicación de reservorio.

Fuente: Elaboración propia, extraído de la plataforma con conexión a internet.

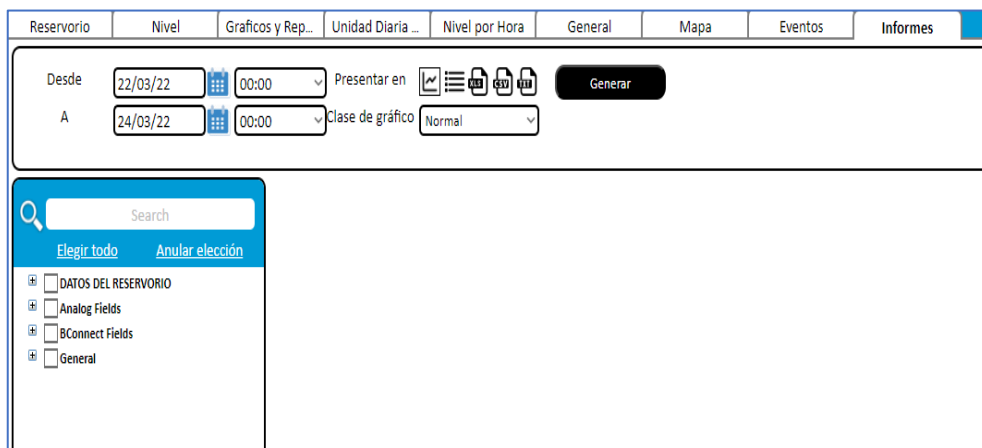


Figura 32. Interfaz de visualización para generación de reportes en el sistema.

Fuente: Elaboración propia, extraído del software de la plataforma.

Finalmente, en la figura 33 se puede visualizar la interfaz integral para el monitoreo de toda la red de reservorios en conjunto, representando así el sistema completo.

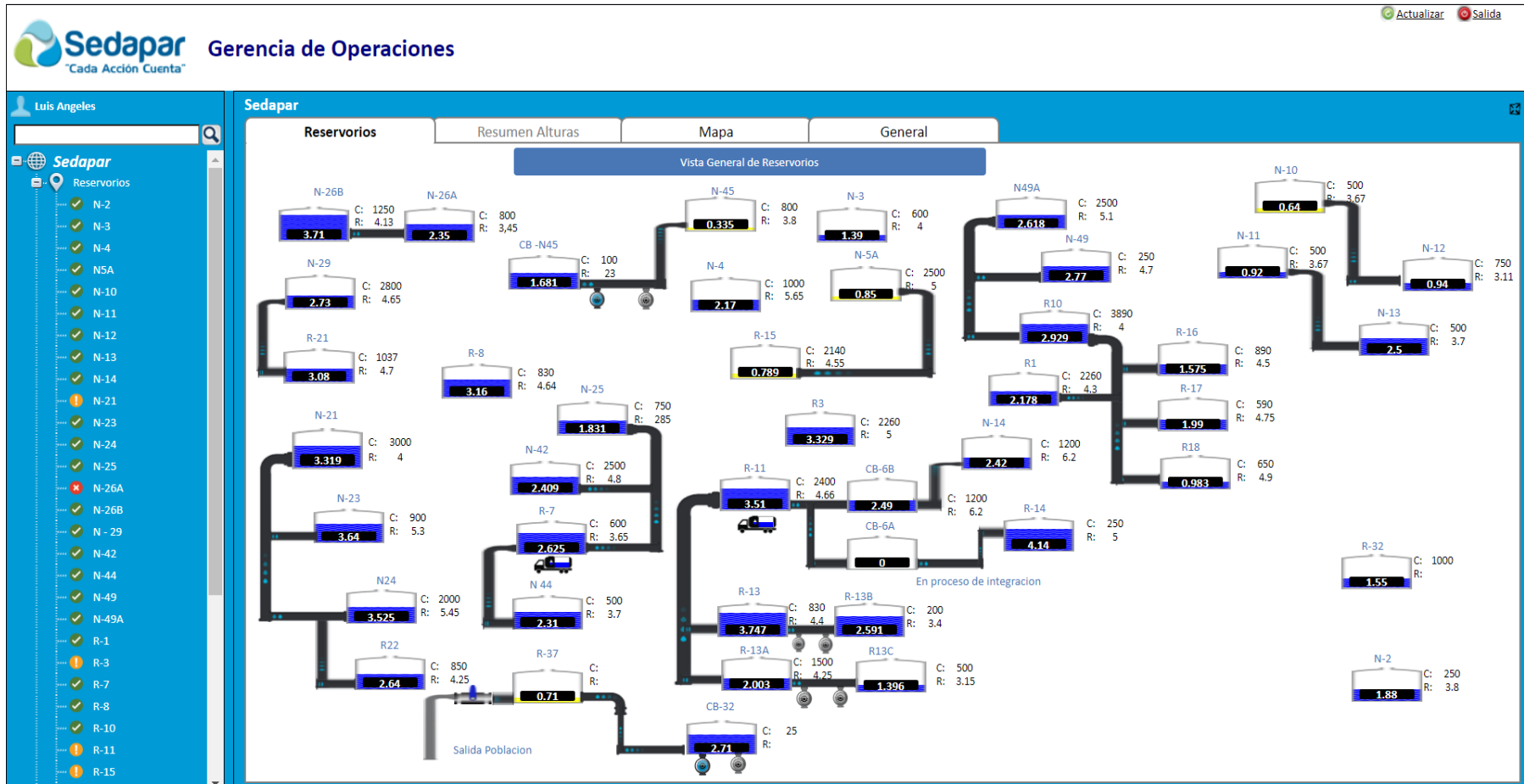


Figura 33. Vista general del sistema de telemetría de acceso por el usuario en la empresa.

Costo de implementación de la propuesta.

Se estimó el costo de implementación de la propuesta, considerando el total de reservorios (4), bajo administración de la empresa que requieren automatización de control de nivel por telemetría, lo cual se resume en la tabla 9.

Tabla 9.

Costo de implementación de la propuesta a partir del global

Ítem	Componentes	Modelo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Parcial (S/)
Equipos Mayores						
1	Sensor de Presión	S060	Und.	18	2 200.00	39 600.00
2	Macromedidor		Und.	20	3 800.00	76 000.00
3	UPS 10 KVA	URT-10K	Und.	1	8 750.00	8 750.00
4	Gabinete de comunicación de 42 RU	5508110	Und.	1	12 850.00	12 850.00
5	Transformador de aislamiento 12KVA	TAMF-12K-K13	Und.	1	6 500.00	6 500.00
6	Monitores de 86"		Und.	1	9 634.70	9 634.70
7	Unidades de Comunicación Remoto URT	Bconnect - 3G	Und.	44	1 450.00	63 800.00
8	PLC	S-1200	Und.	6	3 215.60	19 293.60
9	Arrancador Suave	Sirius 3RWS	Und.	10	6 850.10	68 501.00
10	Pantalla HDMI	g72-6325	Und.	5	4 650.30	23 251.50
11	Gabinete de Automatización de 24 RU	VXSE	Und.	3	4 750.50	14 251.50
12	Transformador de aislamiento de 220 V		Und.	5	3 600.00	18 000.00
13	Gabinete de automatización de 40 RU	VXSE	Und.	2	6 970.40	13 940.80
Total IGV (18 %)						67 387.158
Total de Equipos mayores (S/):						441 760.258
Equipos - Activos menores						
14	Base metálica para panel solar		Und.	20	120.00	2 400.00
15	Panel solar monocristal 50 w		Und.	20	484.93	9 698.60
16	batería AGM de 12 V		Und.	20	69.12	1 382.40
17	Regulador solar		Und.	10	278.41	2 784.10
18	Cable unifilar solar negro		Und.	40	16.22	648.80
19	cable unifilar solar rojo		Und.	40	16.22	648.80
20	caja protección		Und.	20	302.91	6 058.20
21	Llaves termomagnéticas 20A		Und.	44	44.50	1 958.00
22	Tuberías metálicas Conduil		Und.	50	15.90	795.00
23	Cable Profinel		Und.	5	16.80	84.00
24	Contactores 185A		Und.	5	830.00	4 150.00
25	Interruptor general de 400 A		Und.	5	870.00	4 350.00
26	Accesorios varios		Und.	1	4 000.00	4 000.00
Total IGV (18 %)						S/. 7 012.42
Total Equipos menores:						S/. 45 970.32
Servicios						
27	Licencia de software - gestión de plataforma Móvil y Web	Bacsoft	Und.	1	28 600.00	28 600.00
28	Servicio de instalación sala de monitoreo		Und.	1	4 870.00	4 870.00
29	Servicio de transmisión de datos	Telefonia	Und.	44	25.60	1 126.40
30	Instalación de sensores		Und.	44	125.00	5 500.00
31	Capacitación		Und.	1	4 000.00	4 000.00
	Mantenimiento preventivo sensores 12 veces al año		Und.	2	8 460.00	16 920.00
Total IGV (18 %)						S/. 10 982.95

				Total Servicios (S/):	S/. 71 999.35
				Costos directos	
32	Configuración de sensores	Sedapar	Und.	1	846.00 846
33	Diseño de Pantalla HMI	Sedapar	Und.	1	846.00 846
34	Diseño, desarrollo programación PLC	Sedapar	Und.	1	846.00 846
35	Integración de sensores al sistema	Sedapar	Und.	1	846.00 846
36	Integración de automatización cámaras de bombeo a la plataforma	Sedapar	Und.	1	846.00 846
				Total Costos directos (S/):	S/. 4 230.00
				Costos indirectos	
37	Artículos, movilidad, Epps, otros				S/. 2 500.00
	Total costo de implementación Global (4 reservorios):				S/. 566 459.93
	Costo para Reservoirio R-2:				S/. 141 614.98

Fuente: Tomado de equipo de proyecto de la empresa.

4.1.4 Beneficios Operacionales y Económicos de la Implementación de un Sensor de Nivel con Macromedidor en el Reservorio R-2

Los beneficios operacionales y económicos que implican la implementación de un sensor de nivel con macromedidor en el Reservorio R-2, se determinaron basándose en los factores de fallos operacionales que se pueden evitar o minimizar y, en función de las consecuencias que estos pueden generar en términos económicos. Por tanto, se relacionan con la gestión de mantenimiento.

Para ello, se tomó como referencia el valor de las sanciones relacionadas por las denuncias y falta del servicio a la población en términos del valor de UIT (S/. 4 600) dispuesto por la SUNASS a través de la Resolución de dirección de sanciones N° 019-2021-SUNASS-DS, y también los gastos de mantenimiento anual relacionados a las fallas del sistema manual y los gastos por concepto de mano de obra de monitoreo y mantenimiento continuo que se realiza diariamente para mantener en funcionamiento el reservorio.

Beneficios operacionales por fallas en el reservorio.

Los beneficios operacionales se describen en la tabla 10.

Tabla 10.*Beneficios operacionales*

N°	Efecto / consecuencia	Frecuencia de ocurrencia/ año	Beneficio operacional
1	Afectaciones en instalaciones / equipos que generan mantenimientos correctivos	2	Con la implementación: Evitar el reboso de agua del reservorio
2	Desabastecimiento de reservorio que genera multas	2	Con la implementación: Identificar fallas a tiempo en válvulas de ingreso
3	Desabastecimiento para usuarios que genera multas	2	Con la implementación: Identificar fallas a tiempo en válvulas de salida
4	Limitar del servicio de agua a la población que genera multas	2	Con la implementación: Identificar fallas estructurales en las líneas de conducción

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 10, los beneficios operacionales están asociados con la operación correcta de los dispositivos de control del sistema hidráulico, lo cual incurre directamente en el mantenimiento de los mismos y en las multas que se pueden evitar al poder identificar, monitorear y actuar oportunamente mediante el sistema automatizado a implementar.

Beneficios operacionales por mantenimientos y monitoreo manual.

En la tabla 11, se muestra la relación de las actividades relacionadas con mantenimientos y operación del reservorio R-2 que, con la implementación de la propuesta, se busca eliminarlos de forma parcial o total.

Tabla 11.

Relación de actividades de operación y mantenimiento del Reservorio R-2

N°	Descripción actividad	Beneficio operacional
1	Mantenimientos correctivos por rebose de válvulas: mano de obra, materiales herramientas y gastos logísticos.	Con la implementación: Minimización o eliminación
2	Mantenimientos correctivos por componentes eléctricos asociados a los dispositivos hidráulicos: mano de obra, materiales herramientas y gastos logísticos.	Con la implementación: Minimización o eliminación
3	Monitoreo de reservorio y manipulación de válvulas diariamente (monitoreo y control manual): mano de obra de 3 operarios.	Con la implementación: se prescinde de ello.

Fuente: Elaboración propia con información del área de mantenimiento de la empresa.

Beneficios económicos.

A partir de los beneficios operacionales reportados (tabla 10) y de los costos de mantenimiento relacionados al mantenimiento y operación del reservorio (tabla 11), en la tabla 12 se muestra un resumen traducido en posibles ahorros económicos que se obtendrían con la implementación de la propuesta.

Tabla 12.*Beneficios económicos traducidos en ahorros*

Ítem	Descripción de actividad	Unidad	Cantidad	Frecuencia anual	Costo unitario (S/)	Costo parcial (S/.)
1	Mantenimiento de válvulas por rebose					S/2 800.00
1.1	Materiales	Glb	1	2	S/. 420.00	S/. 840.00
1.2	Herramientas	Glb	1	2	S/. 500.00	S/. 1 000.00
1.3	Mano de obra	Horas	32	2	S/. 11.25	S/. 720.00
1.4	Gastos logísticos	Glb	1	2	S/. 120.00	S/. 240.00
2	Mantenimiento eléctrico de componentes eléctricos asociados a válvulas					S/. 2 980.00
2.1	Materiales	Glb	1	2	S/. 680.00	S/. 1 360.00
2.2	Herramientas	Glb	1	2	S/. 420.00	S/. 840.00
2.3	Mano de obra	Horas	24	2	S/. 11.25	S/. 540.00
2.4	Gastos logísticos	Glb	1	2	S/. 120.00	S/. 240.00
3	Monitoreo y manipulación de válvulas diario					S/. 121 500.00
3.1	Operario	Mes	3	15	S/. 2 700.00	S/. 121 500.00
4	Multas por fallas en servicio					S/. 9 200.00
4.1	Multas por parte Usuario según N° 019 - 2021- SUNASS - DS	UIT	1	2	S/. 4 600.00	S/. 9 200.00
Ahorro traducido total:						S/. 136 480.00

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla 12, se pudo construir un flujo de caja (tabla 13) para estimar los indicadores económicos de valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), que permiten evaluar la rentabilidad de la inversión. Para ello, se establecieron las siguientes premisas:

- Con la implementación se prescinde de la mano de obra que realiza monitoreo y manipulación manual de las válvulas del reservorio, estos son 3 operarios que trabajan turnos completos con salario base de S/. 2 700.00 (tabla 12). Por lo cual, esto se traduce en ingresos por ahorros para la empresa.
- Debido a que la ocurrencia de mantenimientos correctivos no son dependientes directamente del sistema de control del reservorio, sea manual o automatizado, no se consideran como ahorros directos.
- Con la implementación del sistema automatizado para monitorear las variables del reservorio R-2, se podrían minimizar las fallas que generan desbordamiento, corte del servicio, por lo cual, se estimaría reducir las multas al menos a 1 sola,

referente a un 1 solo aspecto operacional (tabla 10), lo cual se convierte en una sola multa por 4 UIT (SUNASS-2022). Esto se traduciría en ingresos por ahorros para la empresa, ya que actualmente, esta condición ocurre en promedio 2 veces al año.

- Se considera que la UIT presenta un incremento anual promedio de 2 %, tomando en cuenta el comportamiento en los últimos 10 años dados por la SUNAT.
- Se considera respecto a la mano de obra, un incremento salarial anual promedio de 10 %, esto es tomando en cuenta el comportamiento de salario base en el país durante los últimos 4 años.
- Los egresos corresponden a aquellos gastos por concepto de operación y mantenimiento del reservorio, lo cual incluye consumos prorrateados de referencia por energía y otros, así como la mano de obra. Para el caso de los mantenimientos preventivos, se considera teóricamente un 5 % de la inversión, como sugiere algunas prácticas de la bibliografía.
- El tiempo de vida para la evaluación del proyecto, se considera en 5 años.
- Como indicadores para el análisis, se consideran el VAN, el TIR y el COK.
- La tasa de costo de oportunidad (COK), tomada en cuenta como parte de los indicadores para el análisis, se ha considerado como valor promedio de 13 % según comportamiento del mercado dado por la SBSS (2022).
- Con los resultados obtenidos en el flujo de caja proyectado en 5 años de la tabla 13, se obtienen los indicadores de la tabla 14.
- Para que el proyecto sea rentable, se debe obtener $TIR > COK$ y $VAN > 0$.

Tabla 13.*Flujo de caja proyectado para el análisis económico del proyecto*

Año	0	1	2	3	4	5
Ingresos						
Ahorros por mano de obra de maniobra		S/. 121 500.00	S/. 133 650.00	S/. 147 015.00	S/. 161 716.50	S/. 177 888.15
ahorro por disminución de multas		S/. 18 400.00	S/. 18 768.00	S/. 19 143.36	S/. 19 526.23	S/. 19 916.75
Total de ingresos:	S/. 0.00	S/. 139 900.00	S/. 152 418.00	S/. 166 158.36	S/. 181 242.73	S/. 197 804.90
Inversión	-S/. 141 614.98					
Egresos						
Mano de obra		S/. 75 000.00	S/. 82 500.00	S/. 90 750.00	S/. 99 825.00	S/. 109 807.50
Mantenimientos		S/. 7 080.75	S/. 7 080.75	S/. 7 080.75	S/. 7 080.75	S/. 7 080.75
Consumo de energía		S/. 7 200.00	S/. 7 200.00	S/. 7 200.00	S/. 7 200.00	S/. 7 200.00
Servicios internet/telefonía		S/. 1 080.00	S/. 1 080.00	S/. 1 080.00	S/. 1 080.00	S/. 1 080.00
Total de egresos:		S/. 90 360.75	S/. 97 860.75	S/. 106 110.75	S/. 115 185.75	S/. 125 168.25
Flujo caja (FC)	-S/. 141 614.98	S/. 49 539.25	S/. 54 557.25	S/. 60 047.61	S/. 66 056.98	S/. 72 636.65
Flujo actual	-S/. 141 614.98	S/. 43 840.05	S/. 42 726.33	S/. 41 616.01	S/. 40 513.98	S/. 39 424.26

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 14.***Indicadores de análisis de rentabilidad del proyecto*

Indicador	Valor
COK (SBS, 2022)	13 %
VAN	S/. 66 505.65
TIR	30 %

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 14, donde la TIR resulta mayor al COK y el VAN resulta mayor a cero, por cual el proyecto es factible para la empresa.

4.2 DISCUSIÓN

Luego de realizar el diagnóstico de la filosofía de operación actual, los componentes del sistema hidráulico y los factores de fallas operacionales, se realizó una propuesta de implementación de un sistema de automatización y control para el monitoreo del nivel y presión en el Reservorio R-2, cuya arquitectura de operación se asemeja a la realizada por Calderón et al. (2018), quienes realizaron un monitoreo y automatización del proceso de bombeo y almacenamiento (reservorio) de agua potable aplicado a una planta de tratamiento de agua. De este modo ambas investigaciones se asemejan, se desarrolló un prototipo con componentes electrónicos compatibles con el paradigma de IoT (internet de las cosas), donde la arquitectura propuesta se basó en los siguientes módulos: sensores flotadores de nivel, tarjeta de interfaz tx, tarjeta de transmisión de datos, tarjeta de recepción de datos, tarjeta de interfaz rx, PLC, pantalla digital y adicionalmente al presente caso de estudio, los autores en cuestión, integraron un módulo de abastecimiento de energía solar - fotovoltaica. Por el contrario, a diferencia de este estudio, el cual partió de la experiencia de campo ya implantada, estos autores evaluaron el funcionamiento del sistema, a través de la recolección de datos de las variables de entrada/salida, cada seis segundos durante 24 horas, mediante pruebas de campo paralelamente. Estas variables fueron estado del nivel mínimo, estado del nivel máximo, estado de activación de la bomba y, el modo de operación manual/automático. Por tanto, con las señales del sistema de control, se pudo comprobar la lógica correcta de accionamiento de la bomba y la alta eficiencia del sistema de comunicación.

Por su parte, los resultados de Álvarez y Girón (2020), Palataxi y Santos (2017) se cotejan con los de la presente investigación, al diseñar sensores de nivel ultrasónicos con aplicación en tanques reservorios. En todos los casos, integraron sensores de niveles con componentes electrónicos de tipo Arduino e interfaz con módulos Xbee serie 2 empleando software de conexión con la red. De esta manera, en todos los casos de estudio, se busca que la interfaz pantalla – usuario, muestre las mediciones que registra el sensor de nivel cada tiempo determinado, el cual se actualiza automáticamente para prevenir inconvenientes de funcionamiento mediante el monitoreo del reservorio por el usuario.

Por otro lado, los resultados obtenidos se contrastan con los de Domínguez (2018), quien a diferencia de la presente investigación se propuso un PLC, el autor efectuó un diseño de un sistema de control distribuido con control PID difuso para control de nivel de

aguas para una planta de distribución de servicios de agua potable. El análisis realizado por este autor, es más complejo al analizar problemas mecánicos relacionados con golpes de ariete (falla operacional), relacionados comúnmente con el funcionamiento de bombas electromecánicas, y su impacto en las tuberías primarias y secundarias, con lo cual justifica el PID, también aplicó la técnica de lógica difusa en el sistema de control distribuido mediante software de ingeniería con lenguaje de pseudocódigo, por último, se efectuaron pruebas para estudiar las respuestas obtenidas en función de la técnica de control aplicada.

Los resultados mostraron respecto a la reducción del golpe de ariete usando el controlador de Lógica difusa de Takagi Sugeno, un mejor control del cierre absoluto de la válvula principal, lo que ayudó a reducir el golpe de ariete. El controlador difuso resultó inestable al momento de presentarse condiciones atmosféricas de lluvias y otros agentes de desbordamiento, por consiguiente, se produce un aumento del caudal enormemente, que con otro análisis estas perturbaciones pueden solucionarse. Así mismo, se determinó que la instrumentación y equipos utilizados para el desarrollo del control, fueron los correctos, sin variaciones en las mediciones y sin inestabilidad en el sistema control de caudal, tales como fluxómetros, sensores de diferencial de presión, etc. Mismos componentes propuestos con el sistema PLC para el control y monitoreo del Reservoirio R-2.

Por último, los resultados de Maz y Vela (2018) quienes, al igual que en el presente caso de estudio, contemplaron un sistema automático de supervisión y control de nivel del tanque elevado, para garantizar el abastecimiento de agua en la universidad nacional Pedro Ruíz Gallo. En cuanto a las diferencias, se planteó el sistema SCADA como arquitectura de software LoT siendo aplicado en nuestro caso, el Bacsoft; así mismo, contempló la simulación del sistema para lo cual se emplearon varios softwares de ingeniería (Somachine Basic1.3, VijeoDesigner 6.2 y LabView), basados en sistema de control SCADA y programación HMI y PLC. En cuanto a la arquitectura de control, en ambos casos se acogieron la programación MI y PLC; también se realizó evaluación económica de las propuestas. Bajo esta lógica, el programa activará las electrobombas y la válvula según el nivel del tanque y la cisterna o reservorio y también se podrá hacer un control manual de dichos equipos en caso sea necesario.

CONCLUSIONES

En la presente investigación se cumplió el objetivo general, el cual consistió en realizar una propuesta de implementación de sensores de nivel de agua con macromedidor en Reservoirio R-2 para la identificación temprana de los fallos operacionales. De esta manera, se derivaron las siguientes conclusiones específicas:

- De acuerdo con el diagnóstico realizado, el Reservoirio R-2 en Arequipa opera con niveles de líquido entre 1.5 m. y 4.5 m. monitoreado a través de una regla de dudosa cubicación; el sistema hidráulico presenta válvulas de control de nivel, mariposa, de compuertas y de aire; sin embargo, no cuenta con medidores de presión y nivel ni de flujo; realizándose las maniobras de control de forma manual para la apertura de las válvulas de ingreso, se realizan de 3 a 4 vueltas, en tanto que su cierre, se efectúa entre $\frac{3}{4}$ a 1 vuelta en el dispositivo de salida. Por lo cual, el sistema no cuenta con sistema automático de monitoreo y control de nivel.
- Se identificaron los fallos que afectan la operación del Reservoirio R-2, encontrándose con mayor incidencia, la caída de obturador de las válvulas de ingreso y de salida, así como el rebose de agua del mismo.
- Se diseñó una arquitectura operacional para la implementación de un sensor de nivel con macromedidor, que permita la identificación temprana de fallos en el Reservoirio R-2 en Arequipa. El cual consiste en un sistema de telemetría compuesto por un sensor de radar para nivel de líquido, un sensor de presión, macromedidor de flujo, Unidad de Terminal Remoto (RTU), Plataforma LoTBacsoft, Comunicación GPRS 3G y Controlador Lógico Programable (PLC).
- Se determinaron los beneficios operacionales y económicos de la implementación de un sensor de nivel con macromedidor en el reservorio R-2, resultando ser de gran importancia, donde los beneficios operacionales vienen dados por el ahorro en fallos de dispositivos relacionados al control de nivel y presión del tanque, y al monitoreo traducidos en ahorros, tras lo cual se realizó un análisis económico en un horizonte de 5 años, resultando un VAN positivo y un TIR > COK; lo cual garantiza que el proyecto es rentable económicamente.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de un sistema automático de monitoreo y control de nivel.
- Se recomienda realizar calibración y pruebas de todos los instrumentos de campo (sensores, transmisores, indicadores, etc.) que estén implementados, a fin de mantener una transferencia de datos de campo real y no alterada; es decir, como parte del mantenimiento preventivo que se realiza en el reservorio, para así evitar las fallas que afectan la operación.
- Se recomienda hacer pruebas pilotos de todo el sistema de automatización con los sensores y transmisores, a fin de verificar el comportamiento del sistema antes de su implementación en campo y poder detectar fallas o inestabilidades.
- De acuerdo con los beneficios operacionales y económicos obtenidos, se recomienda implementar la propuesta presentada en la presente investigación y no solo en el reservorio R2, sino en todos aquellos administrados por la empresa que no presenten sistema de automatización para el monitoreo de los niveles de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÜERO, R. Manual técnico. Procedimientos para la Operación y Mantenimiento de Captaciones y Reservorios de Almacenamiento. Lima, Perú: Organización Panamericana de la Salud. 2004, 20 pp.
- ÁLVAREZ, Y., y Girón, D. Diseño de un sensor de nivel ultrasónico con aplicación en tanques reservorios de agua de los sistemas piscícolas. Tesis. Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira, 2020. 59 pp. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/items/645232cc-d95b-44bc-9d20-2dd658c5281e/full>
- ANDRADE, R. Módulo didáctico para controlar nivel y caudal de agua, mediante sistema SCADA, PLC y algoritmo PID. Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: Riemat, 2019. 4(2), ISSN: 2588-0721
- ASTUDILLO, R. Diseño e Implementación de un Prototipo de Medidor de Nivel de Agua a través de un Sensor Ultrasónico para Pasos Deprimidos. Tesis (Título de Ingeniero Electrónico y de Comunicaciones). Quito: Universidad Israel, 2016. 79 pp. Disponible en: <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/1181>
- CÁCERES, O. Aplicación de la herramienta TPM para mejorar la productividad en el proceso de granallado, Empresa JCB Estructuras S.A.C., 2019. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Industrial). Lima: Universidad Ricardo Palma, 2019. 142 pp. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2619>
- CALDERÓN, C. et al. Monitoreo y automatización del proceso de bombeo y almacenamiento (reservorio) de agua potable aplicado a una planta de tratamiento de agua. Artículo. Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja, 2018. Disponible en: <https://shortest.link/lvIm+>
- CARE Internacional - Avina. Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. Módulo 5: Operación y Mantenimiento de Sistemas de Agua Potable. Quito, Ecuador, 2012. Disponible en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CARE-AVINA%202012.%20Operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento%20de%20sistemas%20de%20agua.pdf
- CARRASCO, S. Metodología de la investigación científica. Lima: Editorial San Marcos, 2017
- CARRIÓN, H., y GUERRERO, C. Diseño de un programa de control automatizado para la calidad del agua en el proceso acuícola de la tilapia en Namballe-San Ignacio. Tesis

- (Título de Ingeniero Mecánico Electricista). Jaén: Universidad Nacional de Jaén, 2018, Disponible en: <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/76>
- CREUS, A. Instrumentación Industrial. México: Alfa Omega Grupo Editor, 2010
- DOMÍNGUEZ, R. Diseño de un sistema de control distribuido con control PID difuso para control de nivel de aguas para una planta de distribución de servicios de agua potable. Tesis: (Título de Ingeniero Electrónico). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018. 94 pp. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6022>
- EMERSON. Guía del Ingeniero para la medición de Tanques, 2021
- GARCÍA, A. Charla sobre el control de nivel en reservorios. Depósitos y Acopio de Agua. México: Bermad Water Control Solutions. 2017
- GARCÍA, M. Implementación de un plan de gestión de mantenimiento preventivo basado en TPM para aumentar la confiabilidad en las máquinas de la empresa comercial molinera San Luis SAC, 2018. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Pimentel: Universidad San Martín de Porres, 2018. 180 pp. Disponible en: <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/3953>
- GARCÍA, R. et al. Apuntes de Sistemas de Control. Alicante: Editorial Club Universitario. 2003
- GUTIÉRREZ, S. Plan de mantenimiento basado en la metodología TPM para incrementar la productividad de los equipos línea amarilla en la empresa Renteq Maquinarias SAC. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista). Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo, 2020. 104 pp. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/47102?locale-attribute=es>
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., y BAPTISTA, P. Metodología de la investigación, 6ta ed. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2014
- INSTITUTO Nacional de Estadística e Informática. Reporte Estadístico. Censo Poblacional - Resultados Definitivos. Arequipa, 2018
- KOUTOUDJIAN, J. Curso AIDIS 2019. Operación de Plantas Potabilizadores. Panamá: AIDIS Argentina, 2019
- MANITOBA Conservation and Water Stewardship. Water Storage Tanks (Cisterns). Tomorrow Now. Manitoba's GREEN Plan, 2014
- MAZ, E., y VELA, C. Sistema automático de supervisión y control de nivel del tanque elevado para garantizar el abastecimiento de agua en la universidad nacional Pedro Ruíz Gallo. Tesis (Título de Ingeniero Electrónico). Lambayeque: Universidad

- Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2018. 90 pp. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4969>
- MICRO AUTOMACIÓN. Automatización y Control, 2021. Disponible en: <https://co.microautomacion.com/es/tec/comando-bimanual-2/>
- NAKAJIMA. Introduction to TPM: Total Productive Maintenance, 1998
- OGATA, K. Ingeniería de control moderna. Madrid: Pearson, 2010
- OMEGA. Sensor de nivel. 2021. Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>
- PALATAXI, G. y SANTOS, J. Automatización e implementación de un sistema de recolección, cloración y monitoreo de niveles de agua, cloro y oxígeno del agua potable del caserío Mollepamba. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2017. 119 pp. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7932>
- PARI, D. et al Implementación de un prototipo de monitoreo del nivel del agua en el reservorio de Viñas de la ciudad de Pampas de la provincia de Tayacaja. Revista de Investigación Científica y Tecnológica LLamkasun, 2022. 3(1). ISSN: 2709-2275
- PINEDA, C. y VARGAS, K. Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento basado en la metodología de mantenimiento productivo total (TPM), para mejorar la productividad y confiabilidad en el Molino Don Julio S.A.C - Lambayeque 2015. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2015. 156 pp. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/4466>
- RAMÍREZ, D. Curso técnico de Dinámica de Sistemas. Análisis de las pérdidas de agua en los Sistemas de Abastecimiento. Santiago de Cali, Colombia, 2014
- ROBERTI, L. Gestión de agua y saneamiento sostenible. Tanque de Almacenamiento. 2018. Disponible en: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/tanque-de-almacenamiento>
- TAMAYO, M. El proceso de la investigación científica. 4ta. ed. México: Editorial Limusa, 2004
- VILLENA, A. Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento de equipos bajo las técnicas del TPM en una empresa constructora. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2017. 303 pp. Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/622200>
- YAVARONE, R. La importancia del diagnóstico eficiente en el mantenimiento industrial. ADECA Mantenimiento Industrial, 2019. 26-30 pp. Disponible en:

https://www.editores.com.ar/sites/default/files/aa11_yavarone_diagnostico_eficiente.pdf

ZAPATA, C. Confiabilidad de Sistemas Industriales. Feria Técnica y Comercial para Clientes CHEC. Pereira, Colombia, 2011. Disponible en: <https://vdocuments.mx/confiabilidad-de-sistemas-industriales-utp-confiabilidad-de-sistemas-industriales.html?page=1>

ANEXOS

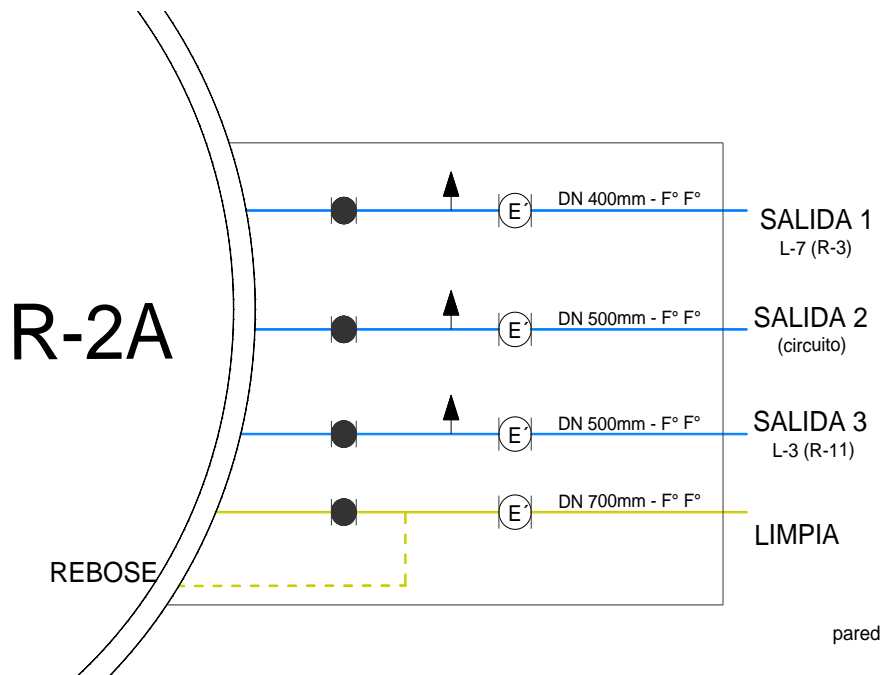
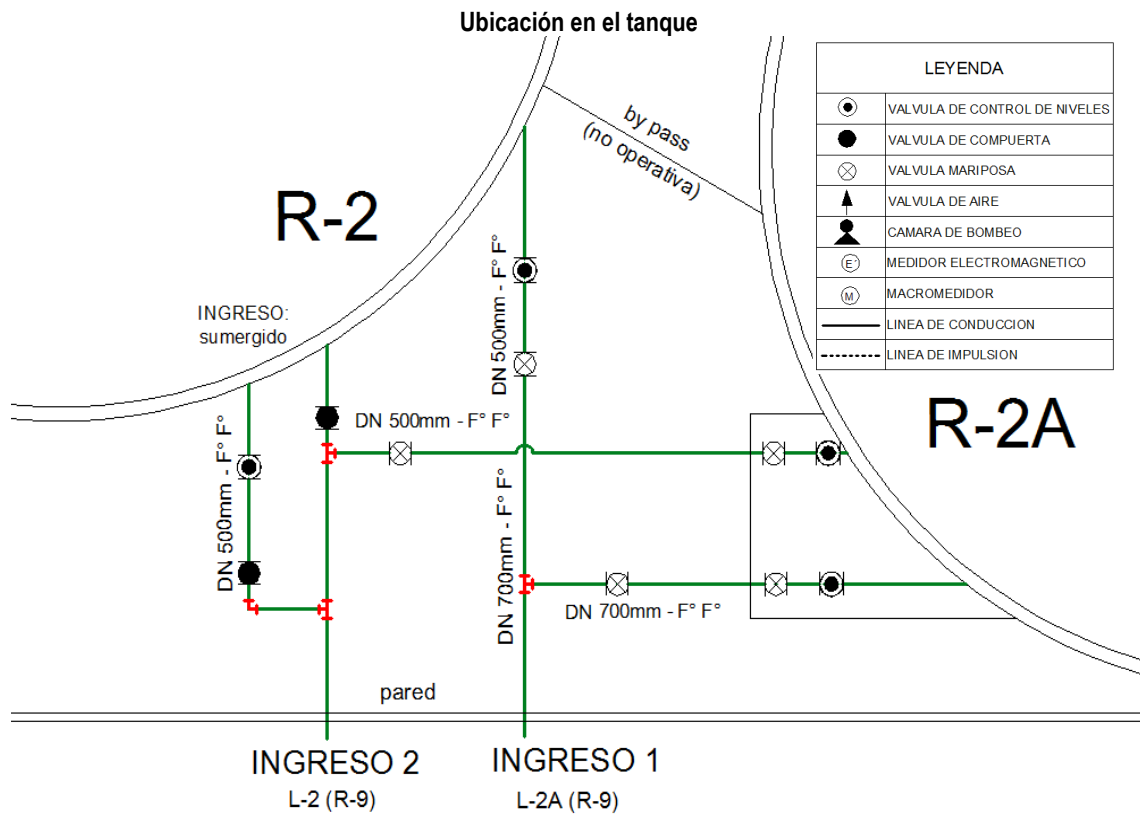
Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Operacionalización			Metodología	
			Variable	Dimensión	Indicador	Tipo de investigación	Técnicas e Instrumentos
¿De qué manera una propuesta de implementación de sensores de nivel de agua con macromedidor en Reservoirio R-2 permitirá una identificación temprana de los fallos operacionales?	Diseñar una propuesta de implementación de sensores de nivel de agua con macromedidor en Reservoirio R-2 que permita la identificación temprana de los fallos operacionales.	La implementación de sensores de nivel de agua con macromedidor, permitirá la identificación temprana de los fallos operacionales en Reservoirio R-2 que asegurará el abastecimiento de agua en la ciudad de Arequipa.	Independiente: Propuesta de implementación de sensor de nivel con macromedidor	Arquitectura operacional y componentes del sensor.	Intervalo de valores de rebose.	Tipo: Aplicada (Carrasco, 2017)	Técnicas: Observación directa
					Intervalo de valores desabastecimiento.		
Específicos	Específicos	Específicas		Evaluación de costo operacional.	Porcentaje de rentabilidad y ahorro.	Diseño: No Experimental (Hernández, et. al. 2014)	Instrumentos: Fichas de registro
					Porcentaje de costo e inversión.		
¿Cuál es la situación actual de la operatividad del Reservoirio R-2 en Arequipa?	Diagnosticar la situación actual de la operatividad del Reservoirio R-2 en Arequipa	Un diagnóstico de la situación actual de operatividad del Reservoirio R-2 en Arequipa, permitirá conocer la problemática de fallos operacionales del mismo.	Dependiente: Identificación de fallos operacionales en reservoirio R-2	Diagnóstico actual del reservoirio	Niveles de estándar de operación.	Enfoque: Cuantitativo (Hernández, et. al. 2014)	
					Caudales estándares de operación.		
¿Cuáles son las causas que inciden en la presencia de	Identificar las causas de los problemas que inciden en la	Existen causas externas e internas en el reservoirio que			Niveles de presiones de estándares de trabajo.		
					Estándares de funcionamiento y		

fallos operacionales en el Reservorio R-2 en Arequipa?	presencia de fallos operacionales en el Reservorio R-2 en Arequipa.	inciden en la presencia de fallos operacionales en el Reservorio R-2 en Arequipa.		condición de tuberías y válvulas.	
¿Cuál es la arquitectura operacional para la implementación de un sensor de nivel con macromedidor para la identificación temprana de fallos en el Reservorio R-2 en Arequipa?	Diseñar la arquitectura operacional para la implementación de un sensor de nivel con macromedidor que permita la identificación temprana de fallos en el Reservorio R-2 en Arequipa.	La arquitectura operacional definida para la implementación de un sensor de nivel con macromedidor permitirá la identificación temprana de fallos en el Reservorio R-2 en Arequipa.	Tipo de falla	Porcentaje de fallas físicas	
				Porcentaje de fallas eléctricas	
				Porcentaje de fallas funcionales	
¿Qué beneficios operacionales y económicos se logran con la implementación de un sensor de nivel con macromedidor que permita la identificación temprana de fallos operacionales en el Reservorio R-2 en Arequipa?	Determinar los beneficios operacionales y económicos de la implementación de un sensor de nivel con macromedidor que permita la identificación temprana de fallos operacionales en el Reservorio R-2 en Arequipa.	La implementación del sensor de nivel con macromedidor en el Reservorio R-2 en Arequipa, tiene beneficios operacionales y económicos significativos para la optimización de la gestión del recurso hídrico.	Causas o factores que generan las fallas	Identificación de factores internos	
				Identificación de factores externos	

Anexo 2. Ficha de registro de operatividad actual del Reservorio R-2

"Propuesta de implementación de sensores de nivel de agua con macromedidor en Reservorio R-2 para la identificación temprana de los fallos operacionales"	
Operación actual del Sistema de agua del Reservorio R-2	
Elaborado por:	Período/fecha:
Parámetros Operacionales	
Presiones de trabajo	No tiene macromedidor
Niveles de trabajo	De 1.50m. a 4.5m. de altura de reservorio EN REGLA EN METROS
Caudal de operación	No tiene macromedidor
Vueltas de apertura de ingreso	De 3 vueltas a 4 vueltas
Cierre de válvula de ingreso	De ¾ a 1 vuelta
TIPO DE TRABAJO	EL TRABAJO SE REALIZA DE FORMA MANUAL
Otro	
Aspectos Físicos: Tuberías, Válvulas, elementos de control	
Tipo	Características/condición
TUBERÍA DE INGRESO 1	DE DN 700 mm
TUBERÍA DE INGRESO 2	DE DN 500 mm
VÁLVULA MARIPOSA DE INGRESO 1	DE DN 700 mm
VÁLVULA MARIPOSA DE INGRESO 1 EN CÁMARA DE VÁLVULAS	DE DN 700 mm
VÁLVULA DE CONTROL DE NIVEL DE INGRESO 1	DE DN 700 mm
VÁLVULA MARIPOSA DE INGRESO 2	DE DN 500 mm
VÁLVULA MARIPOSA DE INGRESO 2 EN CÁMARA DE VÁLVULAS	DE DN 500 mm
VÁLVULA DE CONTROL DE NIVEL DE INGRESO 1	DE DN 500 mm
TUBERÍA DE SALIDA 1	DE DN 400 mm
VÁLVULA DE COMPUERTA DE SALIDA 1	DE DN 400 mm
VÁLVULA DE AIRE DE SALIDA 1	DE DN 400 mm
MEDIDOR ELECTROMAGNÉTICO DE SALIDA 1 (INSERVIBLE)	DE DN 400 mm
TUBERÍA DE SALIDA 2	DE DN 500 mm
VÁLVULA DE COMPUERTA DE SALIDA 2	DE DN 500 mm
VÁLVULA DE AIRE DE SALIDA 2	DE DN 500 mm
MEDIDOR ELECTROMAGNÉTICO DE SALIDA 2 (INSERVIBLE)	DE DN 500 mm
TUBERÍA DE SALIDA 3	DE DN 500 mm
VÁLVULA DE COMPUERTA DE SALIDA 3	DE DN 500 mm
VÁLVULA DE AIRE DE SALIDA 3	DE DN 500 mm
MEDIDOR ELECTROMAGNÉTICO DE SALIDA 3 (INSERVIBLE)	DE DN 500 mm
TUBERÍA LIMPIA	DE DN 700 mm
VÁLVULA DE COMPUERTA DE LIMPIA	DE DN 700 mm
MEDIDOR ELECTROMAGNÉTICO DE LIMPIA (INSERVIBLE)	DE DN 700 mm



Filosofía del proceso (descripción del proceso incluyendo elementos de control actual)

- 1) ALAS 6 AMSE APERTURA LA VÁLVULA DE INGRESO DE 3V A 4 V.
- 2) ALAS 6 PM SE REDUCE LAS VUELTAS A 1 VUELTA
- 3) NO PRESENTA ELEMENTOS DE CONTROL EN EL RESERVORIO R-2
- 4) SE MONITOREA MEDIANTE UNA REGLA LAS ALTURAS DEL RESERVORIO

Anexo 3. Fallas y factores de causa en el Reservorio R-2

"Propuesta de implementación de sensores de nivel de agua con macromedidor en Reservorio R-2 para la identificación temprana de los fallos operacionales"

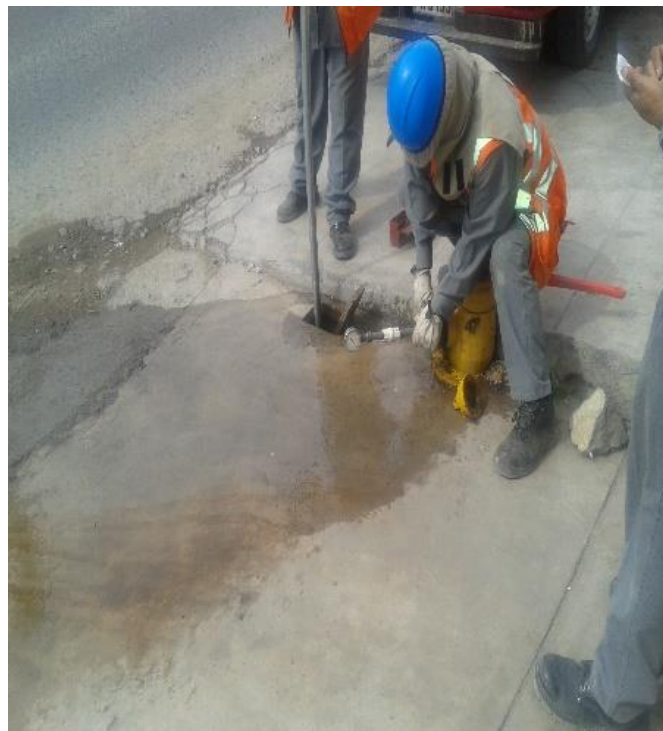
Identificación de Fallos operacionales en el sistema del Reservorio R-2			
Elaborado por:		Fecha/Período:	
Tipo de fallo operacional	Ubicación	Factor o Causa	Incidencia/ frecuencia
Rebose de reservorio	Miraflores - Arequipa-Perú (Reservorio r-2)	Monitoreo	Daños a las instalaciones y pérdidas de agua, posibles denuncias de usuario si es muy fuerte /aprox. 3 veces al año
Caída de obturador de válvula en ingreso	Ingresos de reservorio	Mantenimiento y control	Desabastecimiento de reservorio/ aprox. 4 veces al año
Caída de obturador de válvula en salida	Salidas de reservorio	Mantenimiento y control	Desabastecimiento para usuarios aprox. 4 veces al año
No presentar ingreso a reservorio	Ingresos de reservorio	No hay producción en planta de producción	No brindar servicio de agua a la población/ aprox. 2 veces al año
Bajo caudal en ingreso a reservorio	Ingresos de reservorio	Poca producción o incidente de rotura en línea de conducción a reservorio	No brindar servicio de agua a la población/ aprox. 2 veces al año

Anexo 4. Fotografía de las líneas de ingreso, válvulas de aire y rebose



Anexo 5. Memoria fotográfica de operaciones y mantenimientos en el reservorio

Procedimiento de purga de grifo contra incendio



Procedimiento de limpieza y desinfección del reservorio





Anexo 6. Procedimientos en el reservorio R-2

Procedimiento general de limpieza y desinfección

- Programar la limpieza del reservorio.
- Realizar la publicación (diarios y emisoras radiales) donde se consigne la fecha y la duración de la limpieza y desinfección con un plazo mínimo de 48 horas antes de la tarea.
- Charlas de inducción al personal especializado.
- Dotar de los EPPs (equipos de protección personal) adecuados para la tarea.
- Disponer y calcular la dosis para la desinfección del reservorio de acuerdo a las condiciones hidráulicas del componente (dimensiones).
- Disminuir el tirante de agua mediante el consumo de la red (vaciado del reservorio).
- Abrir la descarga del reservorio, hasta que el nivel de la columna de agua alcance 20 cm.
- Antes de ingresar, efectuar la evaluación general, el encargado deberá poseer todo el equipamiento de protección personal adecuado para esta acción).
- En la limpieza se usará las siguientes herramientas de trabajo: hidrolavadora, escobillas, mangueras, escaleras, tachos y otros accesorios necesarios para la limpieza, luego proceder a limpiar paredes y fondos de reservorio.
- Después del lavado, abrir la válvula de descarga para la evacuación de los residuos.
- Abrir la válvula de entrada del reservorio y llenarlo hasta 0,30 m, a partir del cual se aplicará una solución de compuesto clorado que contenga 20 mg/l. de cloro libre, refregando paredes y fondo con utilización de rasquetas de jebe y escobas de plástico, para posteriormente proceder al enjuague con el apoyo de una hidrolavadora.
- Las proporciones de aditivo para la desinfección son: 1000m³...2kg + 200 Litros por metro cubico de agua según la capacidad del reservorio.
- Alcanzado el nivel necesario, abrir la válvula de purga del compartimento en limpieza, hasta descargar toda el agua con el cloro concentrado.
- Cerrar la válvula de purga y abrir la válvula de entrada del compartimento lavado, volver a efectuar un enjuague final
- Abrir nuevamente la purga y vaciar el agua almacenada.
- El departamento de Control de calidad

- Verificar que el reservorio se encuentre limpio y desinfectado, de acuerdo a las normas establecidas para potabilización del agua, para luego otorgar el certificado de desinfección.
- Verificar que se encuentre limpio y desinfectado
- Abrir la válvula de entrada y comenzar a llenar el reservorio
- Cuando el nivel del reservorio supere la mitad de su capacidad, abrir la válvula de salida y comenzar la distribución de agua a la población
- Verificar el cloro residual del agua en la tubería de salida, para regular la dosificación según normas establecidas para un agua apta para consumo humano.

Procedimiento general de grifos contra incendio

- Determinar puntos de purga, según cota de altura de los hidrantes
- Determinar cantidad de hidrantes según el número total por cada circuito, el (4 % del total aproximadamente).
- Ejecutar la purga por cinco minutos como mínimo, o hasta que el aire y las sustancias en suspensión (sedimentos) haya sido extraídos desde una manguera hacia el buzón más cercano.
- Cerrar la válvula de control del hidrante.
- Generar los partes correspondientes para su registro en el Sistema de Gestión Operacional IGO.

Procedimiento específico

RESPONSABLE	No	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD
LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE RESERVORIOS		
Un reservorio es una estructura para almacenamiento de Agua Potable, y el posterior abastecimiento a la población del ámbito correspondiente, además para regular la presión de la zona atendida garantizando un buen servicio de caudal y presión adecuadas, consta de dos partes: depósito de almacenamiento; y la caseta de válvulas donde se encuentran las válvulas de control de entrada, salida del agua, de limpia y rebose, y ByPass.		
PROFESIONAL DE OPERACIÓN Y ALMACENAMIENTO	01	Programar la limpieza del reservorio.
	02	Disponer y calcular la dosis para la desinfección del reservorio de acuerdo a las condiciones hidráulicas del componente.
	03	Controla el desarrollo del proceso y su eficiencia.
EQUIPO DE LIMPIEZA JUNTO AL GUARDIÁN OPERADOR	01	Disminuir el tirante de agua mediante el consumo de la red.
	02	Cerrar la válvula de entrada del reservorio a ser lavado y mantener abierta la válvula de salida para que la descarga de agua sea rápida.
	03	Estar atento para que el nivel del agua no quede por debajo de la tubería de salida, evitando la entrada de aire en la línea de aducción.
	04	Cuando el nivel del agua alcance el mínimo establecido para el reservorio (1,00 m), para evitar la entrada de aire, cerrar la válvula de salida del reservorio.

	05	Abrir la descarga del reservorio, hasta que el nivel de la columna de agua alcance 20 cm.
	06	Cerrar esta descarga para que el personal de servicio utilice el agua almacenada en el lavado del reservorio.
	07	Antes de ingresar, efectuar la evaluación general, el encargado deberá poseer todo el equipamiento de protección personal adecuado para esta acción.
	08	En la limpieza se usará las siguientes herramientas de trabajo: Escobillas, mangueras, escaleras, tachos y otros accesorios necesarios para la limpieza, luego proceder a limpiar paredes y fondos de reservorio.
	09	Después del lavado, abrir la válvula de descarga para la evacuación de los residuos.
	10	Dar algunas vueltas a la válvula de entrada del reservorio, para que cuando ingrese el agua limpia, pueda eliminar las impurezas restantes
	11	Cerrar la válvula de descarga. Abrir la válvula de entrada del reservorio y llenarlo hasta 0,30 m, a partir del cual se aplicará una solución de compuesto clorado que contenga 20 mg/l. de cloro libre, refregando paredes y fondo con utilización de rasquetas de jebe y escobas de plástico, para posteriormente proceder al enjuague con el apoyo de una hidrolavadora.
	12	Las proporciones de aditivo para la desinfección son: Para capacidad de 1000 m ³ , 2kg + 200 Litros de agua
	13	Alcanzado el nivel necesario, abrir la válvula de purga del compartimento en limpieza, hasta descargar toda el agua con el cloro concentrado.
	14	Cerrar la válvula de purga y abrir la válvula de entrada del compartimento lavado, volver a efectuar un enjuague final.
	15	Abrir nuevamente la purga y vaciar el agua almacenada.
PUESTA EN MARCHA DE UN RESERVORIO		
La operación se realiza luego de la limpieza y desinfección del componente hidráulico.		
DPTO. CONTROL DE CALIDAD	01	Verificar que el reservorio se encuentre limpio y desinfectado, de acuerdo a las normas establecidas para potabilización del agua, para luego otorgar el certificado de desinfección.
	01	Verificar que se encuentre limpio y desinfectado.
	02	Verificar el cierre total de la válvula de purga.
	03	Cerrar la válvula de by-pass.
GUARDIÁN OPERADOR	04	Abrir la válvula de entrada y comenzar a llenar el reservorio.
	05	Cuando el nivel del reservorio supere la mitad de su capacidad, abrir la válvula de salida y comenzar la distribución de agua a la población.
	06	Verificar el cloro residual del agua en la tubería de salida, para regular la dosificación según normas establecidas para un agua apta para consumo humano.

Procedimiento específico

PROFESIONAL DE OPERACIÓN Y ALMACENAM.	01	Determinar puntos de purga, según cota de altura de los hidrantes
	02	Determinar cantidad de hidrantes según el número total por cada circuito, el (5 % del total aproximadamente).
EQUIPO DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN	01	Proceder a la apertura de la válvula de control de hidrante
	02	Proceder a la apertura del cabezal del hidrante
	03	Ejecutar la purga por cinco minutos como mínimo, o hasta que el aire haya sido extraído
	04	Cerrar la válvula del cabezal del hidrante
	05	Cerrar la válvula de control del hidrante