

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO PARA OPTAR EL GRADO DE BACHILLERATO

EN LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN
SISTEMA PARA LA MEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA
POTABLE Y EL MANTENIMIENTO DE TUBERÍAS,
VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN EN EL MUNICIPIO DE
PARAÍSO, CARTAGO**

SUSTENTANTE:

IVÁN JOHAN FALLAS SÁENZ

TUTOR

EDUARDO SANABRIA GUERRERO

NOVIEMBRE, 2024

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
DECLARACIÓN JURADA	ix
CARTA DE APROBACIÓN, EMPRESA AUTOMATIZACIÓN	x
CARTA DE APROBACIÓN, MUNICIPALIDAD	xi
CARTA DEL TUTOR	xii
CARTA DEL LECTOR	xiii
AUTORIZACIÓN DEL CENIT	xiv
DEDICATORIA	xv
AGRADECIMIENTO	xvi
RESUMEN	xvii
CAPÍTULO I	18
PROBLEMA DEL PROYECTO	18
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL PROYECTO	19
1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa	19
1.1.2 Justificación del proyecto	24
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	31
1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
1.3.1 Objetivo general	39
1.3.2 Objetivos específicos	39
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	40
1.4.1 Alcances	40
1.4.2 Limitaciones.....	41
CAPÍTULO II	46
MARCO TEÓRICO	46
2.1 FUNDAMENTOS DE LA AUTOMATIZACIÓN:	47
2.1.1 Componentes del Automatismo:.....	48
2.1.2 Diseño del automatismo	49
2.1.3 Medición de flujos	51

2.2	TEORIAS DE MEDICIÓN AUTOMATIZADA DE CONSUMO DE AGUA.....	52
2.2.1	Contadores Inteligentes para mejorar la gestión del agua.....	53
2.2.2	Medidores de flujo de agua servicio interno para viviendas, Domótica	55
2.2.3	Medidores de flujo de agua por ultrasonido no invasivo.	58
2.3	CONTEXTUALIZACION DE LAS TEORIAS PLANTEADAS PARA EL PROBLEMA.....	60
<i>CAPÍTULO III</i>		<i>64</i>
<i>MARCO METODOLÓGICO.....</i>		<i>64</i>
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	65
3.1.1	Enfoque de la investigación.....	66
3.1.2	Finalidad de la Investigación	67
3.1.3	Dimensión Temporal	67
3.1.4	Marco de la Investigación.....	68
3.1.5	Carácter de la investigación.....	68
3.2	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	69
3.2.1	Fuentes primarias.....	69
3.2.2	Fuentes secundarias	70
3.3	TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS	71
3.3.1	Observación.....	72
3.3.2	Entrevista.....	74
3.4	VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	76
3.4.1	Variables.....	76
3.4.2	Diseño.....	78
3.5	IMPLEMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	80
<i>CAPÍTULO IV.....</i>		<i>81</i>
<i>DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL</i>		<i>81</i>
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	82
4.2	RECOLECCIÓN Y VALIDACIÓN DE DATOS	85
4.2.1	Recolección de datos	85
4.2.2	Instrumento para recolección de datos.....	85
4.3	ANÁLISIS DE BRECHA	86
4.3.1	Falta de Agua.....	86
4.3.2	Del método de medición actual.	88
4.3.3	De las soluciones tecnológicas.	89
4.4	ANÁLISIS DE OBSERVACIONES EN CONDICIONES ACTUALES	91
<i>CAPÍTULO V</i>		<i>94</i>
<i>DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....</i>		<i>94</i>

5.1	ASPECTOS DE DISEÑO.....	95
5.2	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	96
5.2.1	Sistema autónomo de energía del medidor	96
5.2.2	Sistema de comunicación externa LTE	100
5.2.3	Controlador central de medidor	102
5.2.4	Diseño de código de programa de Python	104
5.2.5	Diseño de interfaz de uso del cliente	107
5.3	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	110
5.4	IMPLEMENTACIÓN.....	120
5.5	ANÁLISIS DE COSTOS.....	123
5.6	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	129
	<i>CAPÍTULO VI.....</i>	<i>130</i>
	<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	<i>130</i>
6.1	CONCLUSIONES.....	131
6.2.1	Primera Conclusión:	131
6.2.2	Segunda Conclusión:	132
6.2.3	Tercera Conclusión:.....	133
6.2.4	Cuarta Conclusión:	133
6.2.5	Quinta Conclusión:	134
6.2.6	Sexta Conclusión:	134
6.2.7	Séptima Conclusión:.....	136
6.2.8	Octava Conclusión:.....	136
6.2.9	Novena Conclusión:	137
6.2.10	Decima Conclusión:.....	138
6.2.11	Undécima Conclusión:.....	139
6.2	RECOMENDACIONES.....	139
6.3.1	Recomendación 1:	139
6.3.2	Recomendación 2:	140
6.3.3	Recomendación 3:	141
6.3.4	Recomendación 4:	141
6.3.5	Recomendación 5:	142
	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	<i>144</i>
	<i>GLOSARIO.....</i>	<i>148</i>
	<i>ANEXO A, Formatos de Investigación.....</i>	<i>149</i>
	Entrevistas:	149
	Observaciones:	151
	<i>ANEXO B, Código de programa Python 3.</i>	<i>155</i>

<i>ANEXO C, Folleto de Presentación del Producto.....</i>	164
<i>ANEXO D, Manual de Usuario</i>	165
<i>ANEXO E, Datos Obtenidos en una fracción de tiempo</i>	169
<i>ANEXO F, Hoja de Características de Sensor de Flujo.....</i>	170

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. División administrativa del cantón de Paraíso.....	20
Figura 2 Organigrama Funciones de Municipalidad de Paraíso.....	23
Figura 3, Porcentaje de agua no facturada en los últimos 16 años.....	26
Figura 4, Ubicación parcial de distribución de Acueducto según plan maestro del 2010.....	27
Figura 5, Toma de mediciones manuales de medidores de agua.....	29
Figura 6, Diagrama de casusa-efecto del problema.....	34
Figura 7, Comparación de medidor datos versus posición de toma de los datos.	36
Figura 8, Cronograma de Actividades del proyecto.	44
Figura 9, Diagrama de Flujo de Sistema control automático.	49
Figura 10, Modelo V (VDI Guideline 2206: Design methodology for mechatronic systems)	51
Figura 11, Ejemplo Medidores Smart del grupo Promedio.....	54
Figura 12, Topología Protocolos ZigBee	55
Figura 13, Soluciones de Digi en redes	57
Figura 14. Tipos de caudalímetros.	59
Figura 15, Precipitación Mensual Valle Central	61
Figura 16 Proceso de medición, facturación y reporte de fugas de agua	84
Figura 17, Resultados de entrevista sobre el faltante de agua.....	87
Figura 18 Resultados de Entrevista método actual de medición.....	88
Figura 19, Resultados de Entrevista de las necesidades tecnológicas de la solución.....	90
Figura 20, Gráficos con el resultado de las hojas de cotejo	91
Figura 21. Escala de Observación mediante Hoja de Cotejo.	92
Figura 22, Grado de protección IP65 y prueba.....	96
Figura 23, Diagrama de módulo de energía de Prototipo.....	97
Figura 24, Consumo de Raspberry PI Zero	98
Figura 25, Capacidad de almacenamiento de las baterías 18650	99
Figura 26 Comparativa evolución de tecnologías Inalámbricas.....	100
Figura 27. Modulo LTE marca WaveShare.....	101
Figura 28 Características de Raspberry PI Zero 2W	103
Figura 29, Diagrama de flujo de programa de prototipo.....	104

Figura 30, Raspberry con conexión API	108
Figura 31 Interfaz gráfica del usuario.....	110
Figura 32, Prototipo final.	110
Figura 33, Sistema de calibración del medidor	111
Figura 34, Grafico de temperaturas durante septiembre y octubre.....	113
Figura 35, Grafico de carga y descarga de prototipo.....	115
Figura 36, Grafico de mediciones obtenidas en el medidor.	118
Figura 37, Diagrama de flujo de construcción.	121
Figura 38. Análisis de proyección de costos.	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1, Estimación de agua consumida por una persona por día.....	25
Tabla 2, Accidentes por la actividad económica según sexo e incidencia, 2023	30
Tabla 3, Explicación de las 6M del diagrama de causa efecto.	32
Tabla 4, Relación de Frecuencia y flujo del sensor por desplazamiento.....	52
Tabla 5, Resumen de contextos de cada teoría.....	63
Tabla 6, Tabla de ideas centrales del marco metodológico.....	71
Tabla 7 Hoja de Cotejo, para observación en blanco	73
Tabla 8, Formato entrevista en blanco.....	75
Tabla 9, Variables de la Investigación.....	77
Tabla 10, Diseño de la investigación.....	79
Tabla 11, Resumen de consumo de energía de sistema de medición de flujo.....	99
Tabla 12, Comparativa de controladores.....	102
Tabla 13, Librerías de Pyton del proyecto.....	106
Tabla 14, Valores de muestras de calibración.	112
Tabla 15, Registro fotográfico de funcionamiento.....	115
Tabla 16, Eventos durante las pruebas de funcionamiento.	119
Tabla 17, Registro Fotográfico de la construcción.....	121
Tabla 18 Listado de materiales:.....	124
Tabla 19, Detalle de desarrollo de Ingeniería.....	126
Tabla 20, Análisis de costos.	128

DECLARACIÓN JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo Iván Johan Fallas Saénz, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 1-1104-0310 egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercebido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachiller Universitario, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE Y EL MANTENIMIENTO DE TUBERIAS; VIABILIDAD DE IMPLEMENTACION EN EL MUNICIPIO DE PARAISO, CARTAGO, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 6 días del mes de Noviembre del año dos mil veinte y cuatro.

Iván Fallas Saénz

Firma del estudiante

Cédula: 1-1104-0310

CARTA DE APROBACIÓN, EMPRESA AUTOMATIZACIÓN

Adimatec Sociedad Anónima

Cartago, La Unión, San Juan, Villas de Ayarco.

86200593

gsilva@adimatec.com

A quien corresponda,



Por medio de la presente, confirmamos el interés de la compañía **ADIMATEC**, cédula 3101746348, ubicada en Villas de Ayarco, en el desarrollo y adquisición de múltiples copias del prototipo denominado "**Medidor de flujo de agua autónomo**", cuyo modelo está por definir. Este dispositivo ha sido diseñado con el objetivo de reemplazar los medidores de consumo de agua municipales, ofreciendo una solución más eficiente y sostenible.

En **ADIMATEC**, nos especializamos en el desarrollo de proyectos, automatización y fabricación de partes mecánicas. Creemos firmemente que la implementación de este medidor no solo mejorará la precisión en la medición del consumo de agua, sino que también contribuirá a la optimización de recursos hídricos en las comunidades.

Estamos interesados en escalar la producción de este medidor a nivel industrial, siempre y cuando recibamos una solicitud formal de alguna institución que esté interesada en su implementación. Nos gustaría explorar posibles colaboraciones y discutir cómo podemos trabajar juntos para llevar este innovador producto al mercado.

Agradecemos de antemano su atención y quedamos a su disposición para cualquier consulta o información adicional que requieran sobre nuestra propuesta. Esperamos con interés su respuesta.

Atentamente,

Greivin Silva Herrera

**Gerente
ADIMATEC**

CARTA DE APROBACIÓN, MUNICIPALIDAD



MUNICIPALIDAD DE PARAÍSO

www.muniparaiso.go.cr

2024/11/11
AMSE-ACUE-0472-2024

Señor:
Iván Johan Fallas Sáenz

Asunto: Proyecto Medidor autónomo de consumo de agua

Reciba un cordial saludo de parte del departamento del Acueducto Municipal.

Es de nuestro total interés poner en práctica el proyecto del medidor autónomo de consumo de agua, ya que esto nos permitirá de forma tecnológica hacer crecer nuestro acueducto.

Con esto habrá más precisión en la medición de consumos de agua potable y optimización de nuestros recursos.

Dejándolo debidamente informado;

VICTOR MEZA
CALDERÓN (FIRMA) Firma digitalizada por eCOE
del Sr. Víctor Meza Calderón
Ing. Víctor Meza Calderón
Acueducto Municipal
VMC
C/archivo



CARTA DEL TUTOR



CARTA DEL TUTOR

San José, 11 de Noviembre del 2024

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante Iván Johan Fallas Sáenz, cédula de identidad número 1-1104-0310, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE Y EL MANTENIMIENTO DE TUBERÍAS; VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN EN EL MUNICIPIO DE PARAÍSO, CARTAGO", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	8
b	Cumplimiento de entrega de avances.	20	20
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	30
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	20
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	20
Total:		100	98

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Eduardo
Sanabria
Guerrero

Digitally signed by Eduardo
Sanabria Guerrero
DN: cn=Eduardo Sanabria
Guerrero, o=Oficina, ou=Eduardo
Sanabria,
email=eduardo.sanabria@unh.ac.cr,
c=CR
Date: 2024.11.11 03:19:45 -06'00'

Ing. Eduardo Sanabria Guerrero, M.I.E.

Céd: 108610714

Tutor

CARTA DEL LECTOR



CARTA DEL LECTOR

San José, 25 de noviembre del 2024

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante Iván Johan Fallas Sáenz, cédula de identidad número 1-1104-0310, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación titulado *"INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE Y EL MANTENIMIENTO DE TUBERÍAS, VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN EN EL MUNICIPIO DE PARAÍSO, CARTAGO"*, el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

JORGE
VILLALOBOS
CASCANTE (FIRMA)

Firmado digitalmente por
JORGE VILLALOBOS CASCANTE
(FIRMA)
Fecha: 2024.11.25 17:16:46
-06'00'

Ing. Jorge Villalobos Cascante, MSc.
Cédula de identidad: 1-1185-0467
Carné colegio profesional: IEL-22656

AUTORIZACIÓN DEL CENIT

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION

San José, 26 de noviembre de 2024

Señores:

Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Ivan Johan Fallas Sáenz con número de identificación 1-1104-0310 autor (a) del trabajo de graduación titulado:

INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE Y EL MANTENIMIENTO DE TUBERÍAS, VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN EN EL MUNICIPIO DE PARAÍSO, CARTAGO

presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar por el título de Bachiller en Ingeniería en Electrónica; Si autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

Ivan Fallas Sáenz
Firma y Documento de Identidad

1-11040310

DEDICATORIA

Dedicado a mi familia, sin ellos no podría concluir esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento muy especial para mi madre Mayra Sáenz, y mi Padre Sigifredo Fallas quien desde el cielo siempre me hace sentirme orgulloso de lo logrado hasta el día de hoy.

También agradecimiento a mi esposa Naty, mis hijos Julissa, Joseph, Amanda y Sofia; quienes son parte fundamental de los logros de mi vida y mi familia.

Agradecimiento a la Municipalidad de Paraíso, por demostrar que las cosas se pueden hacer con excelencia.

Finalmente, agradezco a la Universidad Hispanoamericana, cada uno de sus profesores han dejado una huella en mi formación a lo largo de los años y brindan la oportunidad a personas como yo, que deben trabajar por sus familias y a la vez sacar adelante su educación en los horarios disponibles en nuestros hogares.

RESUMEN

Contexto:

El proyecto que se presenta a continuación es una investigación sobre el método actual de medición del consumo de agua de los abonados en el cantón de Paraíso de Cartago y sus oportunidades de mejora

Alcance

Con el propósito de demostrar cómo, mediante el uso de la tecnología, esta medición manual que se realiza actualmente puede transformarse en un servicio más integral. Esto no solo permite la medición, sino también el monitoreo del consumo de agua, la detección de problemas a través de herramientas tecnológicas y facilitará a los empleados municipales el seguimiento de sus abonados.

A través de la creación de un prototipo que sea:

- Energéticamente autónomo
- Capaz de comunicarse externamente
- Capaz de almacenar los datos adquiridos

Se busca demostrar que la transición hacia este tipo de tecnología, además de ser altamente funcional en un mundo conectado, es también viable en términos de costos e implementación.

Entregable:

El propósito de cada capítulo es abordar el problema planteado en esta investigación, con el fin de llegar a una solución que, en las conclusiones, evidencie si la herramienta tecnológica seleccionada satisface las necesidades identificadas en la municipalidad de Paraíso

CAPÍTULO I
PROBLEMA DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL PROYECTO

En el siguiente capítulo se contextualiza el proyecto a ejecutar, así como la entidad involucrada, que en este caso se refiere a un municipio o gobierno local existente, específicamente una municipalidad, lugar donde se plantea el proyecto y se justifica el planteamiento del problema.

El capítulo se ha dividido en subsecciones para facilitar una mejor comprensión por parte del lector, permitiéndole analizar la información presentada en cada subsección y llegar a conclusiones sólidas en cada punto.

1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa

La empresa en la que se va a ejecutar este proyecto es un gobierno local, el segundo cantón de la provincia de Cartago, este gobierno local recibe el nombre de Municipalidad de Paraíso. El municipio de Paraíso se creó a partir del Ayuntamiento de Ujarrás, hacia 1813, como órgano representativo del pueblo y según lo definido por la constitución de 1812. Originalmente integrado por un alcalde, los regidores y un procurador síndico, presididos por el jefe político superior.

La presión por la tierra de Ujarrás motiva la presentación de una iniciativa de traslado de Ujarrás al lugar llamado Los Riachuelos o Dos Ríos, es cuando nace Paraíso. Alrededor del año 1932 mediante el decreto ejecutivo número 50, del presidente José Rafael Gallegos, dicta a los terrenos conocidos como los Riachuelo, cambiar al nombre del centro de población, que alberga el ayuntamiento, denominándose ahora como El Paraíso. En este nuevo espacio territorial se alberga la Municipalidad del Paraíso. En el año 1848 se establece la primera división administrativa de la república de Costa Rica, creando provincias, cantones y distritos. El Paraíso pasa a ser el segundo cantón la provincia de Cartago.

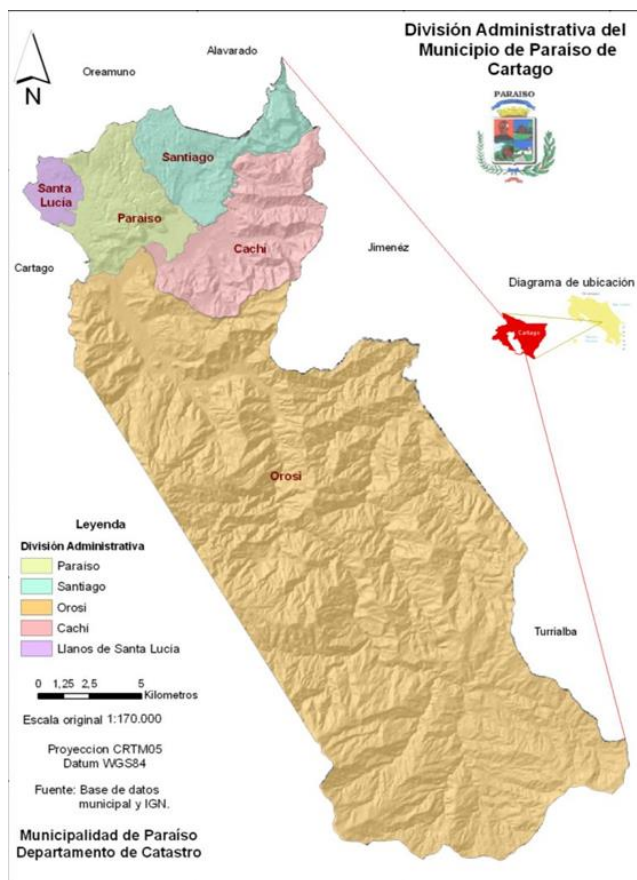
El decreto de creación del cantón de Paraíso, del 7 diciembre de 1848, indica que estará conformado por los poblados de la Villa de El Paraíso, Térraba, Boruca Orosi y Tucurrique; más cinco distritos parroquiales. (Centro Cultural Paraiseño, 2010)

Para el año 1864, el territorio del cantón abarca 11.529.80 km, incluyendo a Paraíso, Jiménez, Turrialba y todos los cantones que comprenden actualmente la provincia de Limón. Después de muchos cambios en límites y longitudes de los territorios con el fin de la creación de nuevos distritos y asentamientos poblacionales, así como la creación de nuevos cantones contiguos como el caso de Turrialba y Jimenes, Paraíso sufre su última modificación en el 2004, con la creación de su quinto distrito, quedando su distribución de distritos y de cantidad de habitantes por distrito de la siguiente manera (PEN, 2020):

1. Paraíso (distrito central), habitantes 21.507 personas.
2. Santiago, habitantes 6.439 personas.
3. Orosi, habitantes 10.141 personas.
4. Cachí, habitantes 5.911 personas.
5. Llanos de Santa Lucía (Creado en el 2004), habitantes 19.378 personas.

En la Figura 1, se observa la distribución actual de los distritos del cantón de Paraíso, con la última actualización del año del 2004.

Figura 1. División administrativa del cantón de Paraíso.



Fuente: Municipalidad de Paraíso (Departamento Catastro , 2020)

Ahora se ha ubicado y contextualizado la zona de ejecución, en el cual se va a realizar el estudio, es necesario proporcionar una rápida explicación, acerca de sus funciones como gobierno administrativo del cantón de Paraíso.

Entre las funciones asignadas a este gobierno local se encuentran las de la Figura 2, esto corresponde a un organigrama interno que muestra los diferentes departamentos y sus respectivas responsabilidades.

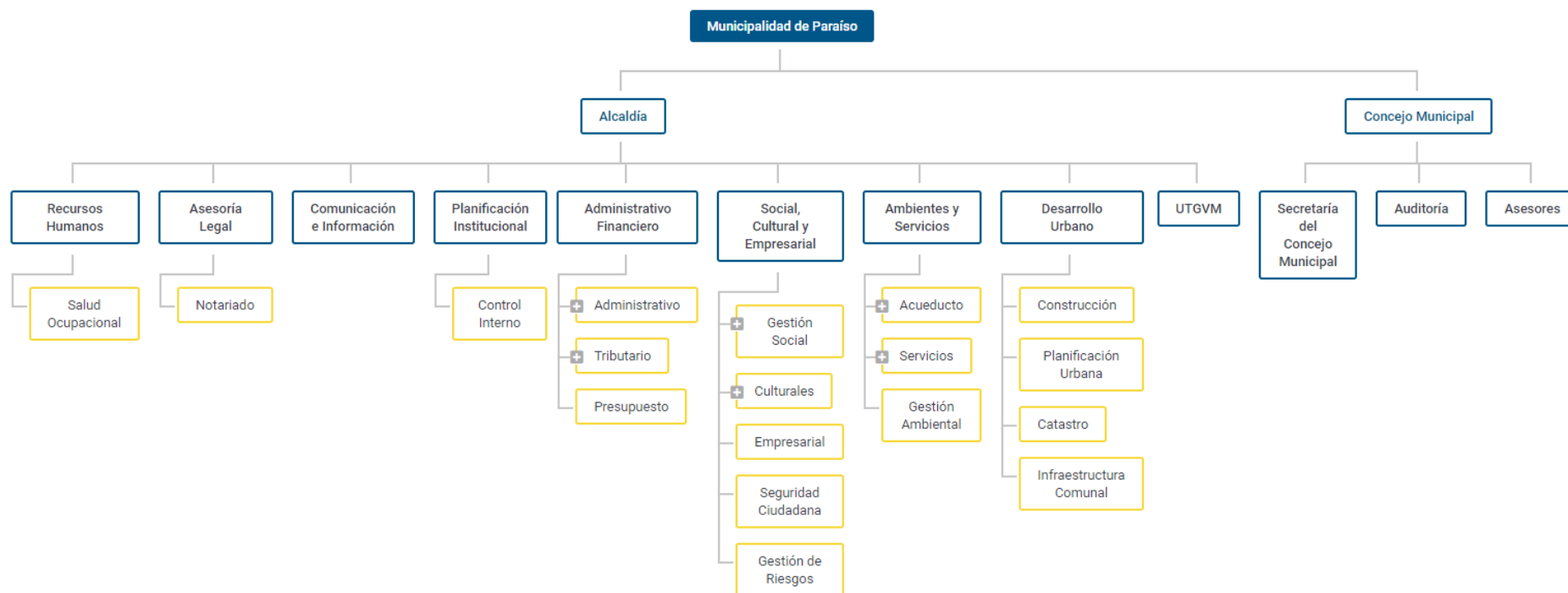
A nivel organizacional, la administración está dividida en la parte de la alcaldía, a cargo del alcalde, y la segunda sección está liderada por el consejo municipal. Para efectos del campo de investigación de esta tesis esta dentro del alcance de las funciones de la alcaldía. En la

municipalidad de Paraíso, hay varios departamentos para administrar al gobierno local: recursos humanos, asesoría legal, comunicación e información, planificación institucional, administrativo financiero, social cultural y empresarial, ambientes y servicios, desarrollo urbano y, finalmente, unidad técnica gestión de vías municipales.

Para la presente investigación, se enfoca en el departamento de ambientes y servicios, específicamente en acueductos, que corresponde a el departamento de Agua Potables.

El área técnica de acueductos es el encargado de administrar el recurso hídrico del cantón. Cuenta con el personal calificado para la atención de las averías, mantenimiento de la infraestructura, captaciones, tanques de almacenamiento, red de conducción y distribución. Además, contratan los trabajos de limpieza y de desinfección de los tanques de almacenamiento y pozos, así como el mantenimiento de nacientes y monitoreo de la calidad de agua. Según su propia definición: “Nuestro principal objetivo es el de brindar un servicio constante a nuestros clientes, por lo que nos dedicamos a la reparación de fugas en vía pública, fugas de medidor, instalación de pajás nuevas, cortas de agua.” (Municipalidad Paraíso, 2023)

Figura 2 Organigrama Funciones de Municipalidad de Paraíso



Fuente: Municipalidad de Paraíso. (Municipalidad Paraíso, 2023)

1.1.2 Justificación del proyecto

La oportunidad de mejora se identifica en el departamento de aguas potables de la Municipalidad de Paraíso. Y el enfoque en este departamento es el subproceso relaciona: consumo de agua potable, el usuario, la medición de consumo, y su mantenimiento en la distribución. Se procede a desglosar en los siguientes párrafos las consecuencias del problema que se planteará.

El agua es el motor que impulsa la vida en el planeta y según advierte la Organización de las Naciones Unidas (ONU), es la base del desarrollo sostenible, puesto que la equidad social, el crecimiento económico, la sostenibilidad del ambiente y la salud humana, se sustentan en dicho recurso. (Municipal., 2024)

En el 2015, llegó a su culminación el plazo para el cumplimiento de los objetivos del milenio establecidos por la ONU. Ahora, la nueva agenda de las naciones del mundo se enfocará en los llamados: “17 Objetivos de Desarrollo Sostenible”, dentro de la cual, se encuentra el objetivo número seis de garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible, así como el saneamiento para todos. (Naciones Unidas, 2023)

Primer contexto del problema, faltante de agua en el consumidor debido a fugas:

Según reportes del Instituto de Acueductos y Alcantarillados, al que se conocerá en este documento por sus siglas como AyA, compartido en el reporte del manual técnico del Departamento de Aguas del Instituto Meteorológico Nacional, una persona en su casa consume en promedio 180 a 200 litros diarios de agua potable para las tareas individuales y colectivas de su hogar. Al analizar la Tabla 1, donde se muestra un ejemplo de consumo mínimo, se puede entender en detalle lo que significa un uso racional del agua por persona por día. (Instituto Meterologico Nacional, 2024)

Tabla 1, Estimación de agua consumida por una persona por día

Consideración Individual	
* En la ducha, 6 minutos con el tubo abierto:	72 Litros
* En el lavatorio, 5 minutos con el tubo abierto:	24 Litros
* En el servicio sanitario, 3 descargas por día:	30 Litros
Consideración colectiva:	
* Lavado de platos y preparación alimentos:	40 Litros
* Lavado de ropa:	8 Litros
* Otros como lavado de auto, riego, limpieza:	6 Litros
Promedio total:	180 Litros

Fuente: Instituto AyA (Dirección de Desarrollo Tecnológico, 2010; Instituto Meteorológico Nacional, 2024).

Esta información sobre el consumo es relacionada a cada persona, sin embargo, el consumo necesario mínimo por cada abonado del sistema el cual aumentaría según la cantidad de personas que comparten el hogar.

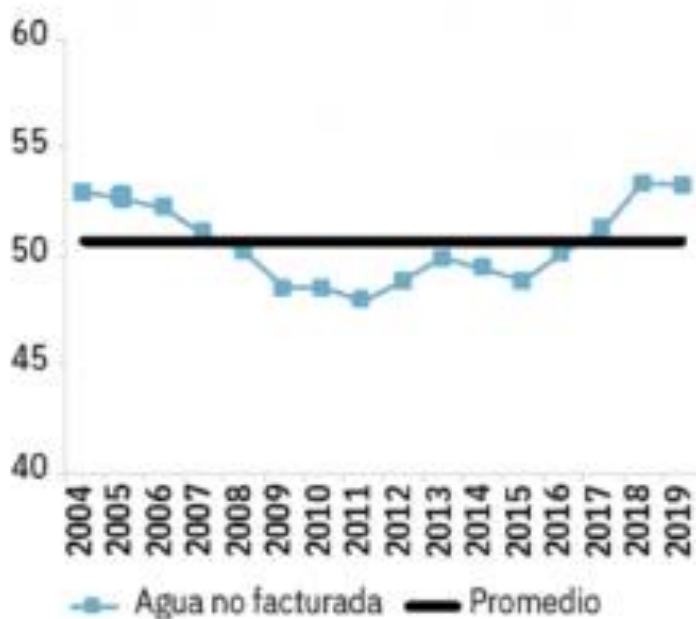
Es importante considerar que según el informe Estado de la nación del 2020 (PEN, 2020), señala que la situación es grave; ya que, en los últimos 16 años, en promedio, se ha desperdiciado la mitad del agua extraída por AyA. Esto explica que esta agua no se llega a consumir, o podría no estar correctamente reportada como consumida por algún usuario o cliente de los acueductos.

El agua que el AyA extrae y purifica, como se muestra en la Figura 3, se desperdicia por diversos motivos, sin embargo, esta porción que no llega a facturarse se conoce técnicamente como agua no facturada.

Esto es un problema que no solo afecta al AyA, como institución nacional de servicios de acueductos de agua potable, sino que, en una escala menor, también se presentan en los acueductos municipales como el de caso de estudio de la Municipalidad de Paraíso.

Figura 3, Porcentaje de agua no facturada en los últimos 16 años.

Porcentaje de agua no facturada del total extraída por el AyA

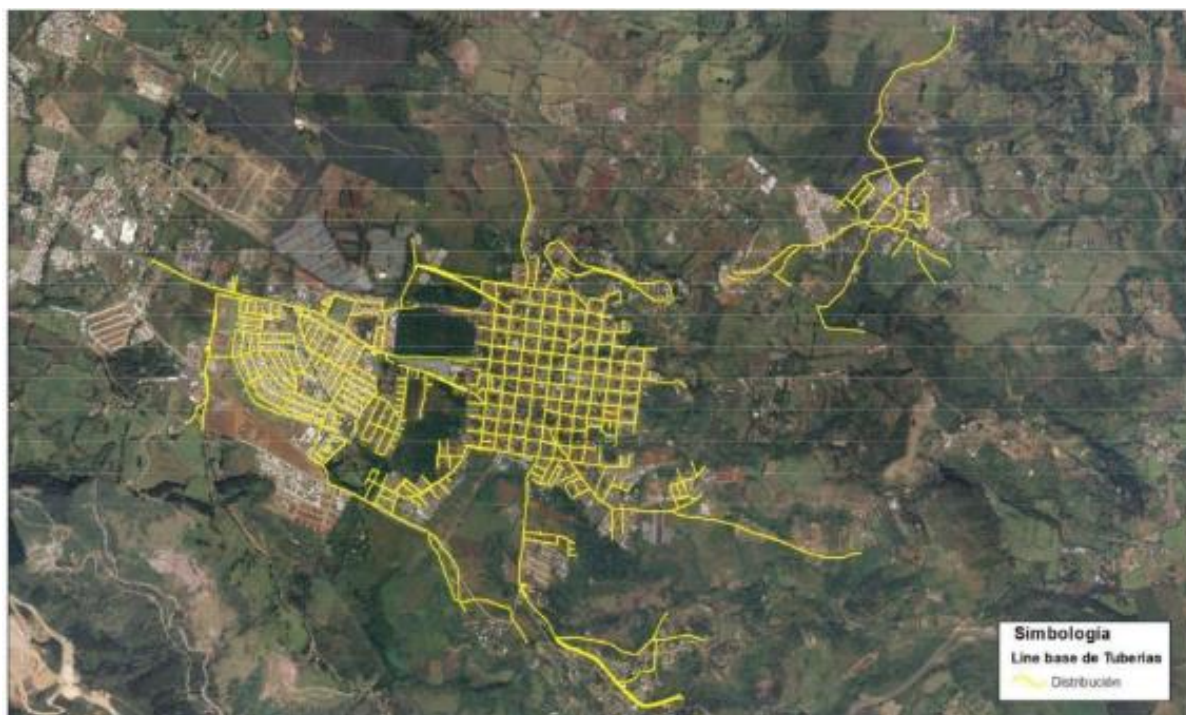


Fuente: Informe Estado de la Nación (PEN, 2020)

Según los datos del AyA esto equivale a 90 millones de agua extraviada. El mismo informe (PEN, 2020) señala que “en opinión de los especialistas, disminuir las pérdidas físicas de agua o de lo que se conoce como agua no facturada, será una forma efectiva de aumentar la cantidad de agua disponible, frente a los periodos de sequía o estación seca”.

Para entender la magnitud de este factor y la complejidad de la distribución de agua, se muestra en la Figura 4, el plan maestro para el distrito central de redes de distribución del Acueducto presentado en el 2010. (UTSAPS - AyA, 2021)

Figura 4, Ubicación parcial de distribución de Acueducto según plan maestro del 2010.



Fuente: Informe líneas de distribución AyA, para municipalidad de Paraíso. (UTSAPS - AyA, 2021)

Si se contextualiza correctamente en términos de tamaño y cantidad de usuarios en una zona específica, se obtiene que, en el cantón de Paraíso, en el distrito central llamado Paraíso, con 21507 habitantes en donde existen 13 419 servicios registrados de agua que consumen en total aproximadamente 3.817.260 litros por día. Existe un riesgo de pérdida de esa misma cantidad de agua en fugas, daños en tuberías, fallas de plantas de tratamiento, tomas no oficiales de agua e incluso por el uso incorrecto de agua que no es medible por el municipio.

Segundo contexto del problema: controles de medición inexactos.

Como segunda referencia, existe otra consecuencia del problema: la toma manual de la medición de datos del agua consumida para cada cliente; esta labor se realiza de manera manual, casa por casa, por un funcionario del servicio municipal. Esta persona debe llegar al medidor de agua potable, tomar y registrar visualmente los valores de consumo, esta medida, además de ser completamente manual, presenta los siguientes problemas:

- Toma manual de datos permite errores en el control de consumos reales del abonado.
- Las fugas en las tuberías no pueden ser detectadas, solo cuando son visibles o reportadas.
- Las tomas irregulares de agua por personas que no quieren pagar el servicio, estas aumentan el consumo aun cuando los medidores legales estén detenidos y sin forma de ser detectadas.
- El usuario nunca puede llevar un control de su consumo diario o semanal.
- No hay conciencia de consumo al no disponer de datos históricos de cada usuario.
- No siempre el funcionario puede revisar todos los medidores, aunque tiene un objetivo de 140 por día, según las condiciones climáticas podría registrar 50 medidores como mínimo.

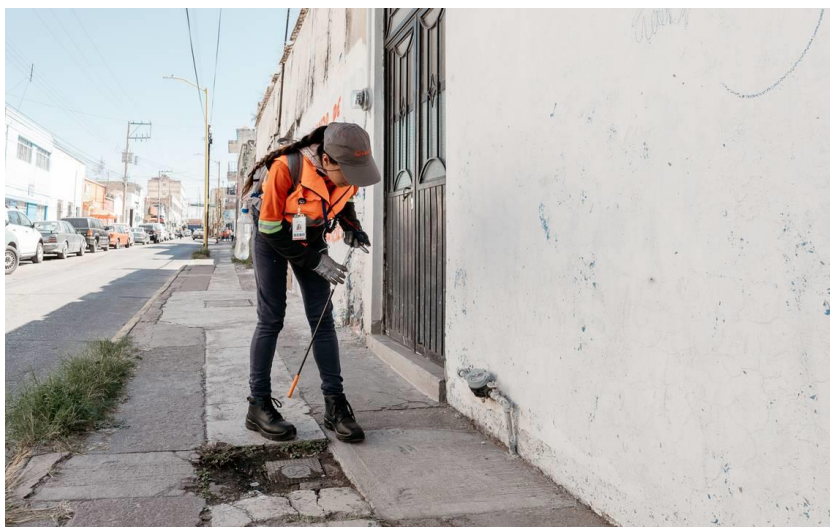
Si se contextualiza en lugar y tiempo, el estudio del proyecto planea desarrollarse en la Municipalidad de Paraíso durante el segundo cuatrimestre del 2024, específicamente en el distrito llamado Paraíso, la medición de datos y el requerimiento de información se tomarán de esta municipalidad. Actualmente, este municipio atiende pérdidas o fugas de agua a través de su línea de averías y también en su página web. Se considera una mejora implementadas para recibir más rápidamente las denuncias de fugas por parte de cualquier ciudadano. Sin embargo, no tienen un método para detectar de manera rápida o automatizada una fuga de agua.

Otra afectación lateral de este método de medición es la cantidad de recursos humanos necesarios. El acueducto debe tener varios colaboradores recorriendo todo el cantón de Paraíso, para la toma de los datos manuales. Esta tarea es compleja debido a las condiciones meteorológicas de la zona y presenta problemas de seguridad ocupacional para los empleados, en términos de ergonomía y exposición a enfermedades dañinas a largo plazo. Algunos ejemplos de estos problemas de salud en los operadores son:

- Exposición continua al sol y riesgos de cáncer en la piel.
- Envejecimiento prematuro.
- Cataratas y daños oculares.
- Problemas físicos en articulaciones y piernas debido a caminar más de lo recomendado cada día.
- Fatiga muscular por lo movimientos repetitivos de descubrir y cubrir el medidor.

En la Figura 5, se observa uno de los funcionarios tomando los datos, donde se identifican posturas ergonómicas incorrectas de piernas y espalda.

Figura 5, Toma de mediciones manuales de medidores de agua



Fuente: Toma del autor (Fallas, 2024)

Según datos del Instituto Nacional de Seguros y el Consejo de Salud Ocupacional (Consejo Salud Ocupacional, 2023), en la Tabla 2, se observa, que los trabajadores relacionados a los sistemas de servicios de agua sufren de accidentes importantes. Esta actividad está enlistada entre las principales actividades económicas con mayor número de accidentes según las formas de accidentes en el año 2023.

Tabla 2, Accidentes por la actividad económica según sexo e incidencia, 2023

Cód.	Actividad económica	Asegurados		Accidentes		Incidencia	
		Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
E	Suministro de agua; aguas residuales, desechos	6 819	1 650	1 181	64	17,3%	3,9%

Fuente: Superintendencia General de Seguros. (Consejo Salud Ocupacional, 2023)

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Con la información presentada en los apartados anteriores sobre contexto y ubicación física del problema, se puede entender que en el proceso de suministro, medición y control de consumo de agua presenta consecuencias de un problema existente. Este problema afecta no solo el servicio de suministro de agua a todas las personas, también afecta a los trabajadores en la toma de los datos manuales del consumo.

Con esta información de base, se debe analizar mediante una metodología de análisis de problema de causa raíz, que permita plantear el problema claramente. Un análisis de causa raíz (RCA, por sus siglas en inglés) implica identificar las causas fundamentales del problema, para implementar soluciones efectivas. Este tipo de análisis aborda las causas subyacentes del problema, en lugar de los síntomas superficiales.

En este proyecto se ha seleccionado el uso del diagrama: Causa-Efecto (Dumas, 2018), mediante la aplicación de un diagrama de Ishikawa o también conocido como diagrama de espina de pescado.

El diagrama de espina de pescado o diagrama de causa-efecto, es una herramienta visual que debe su nombre a su forma, que recuerda o asemeja al esqueleto de un pez; es una representación gráfica que muestra la relación cualitativa e hipotética de los diversos factores que pueden contribuir a un efecto o fenómeno determinado. (Dumas, 2018)

Un diagrama causa efecto se basa en plantear un problema e identificar sus posibles causas, agrupadas en seis factores comunes.

Para esto, es necesario entender cuáles son estas seis causas comunes posibles; según Dumas (Dumas, 2018), estas se conocen como las 6M, por su definición en inglés, y se muestran en la

Tabla 3, donde se encuentran su grupo y su definición para cada una de las 6M, proporcionando una mejor interpretación de los conceptos requeridos.

Tabla 3, Explicación de las 6M del diagrama de causa efecto.

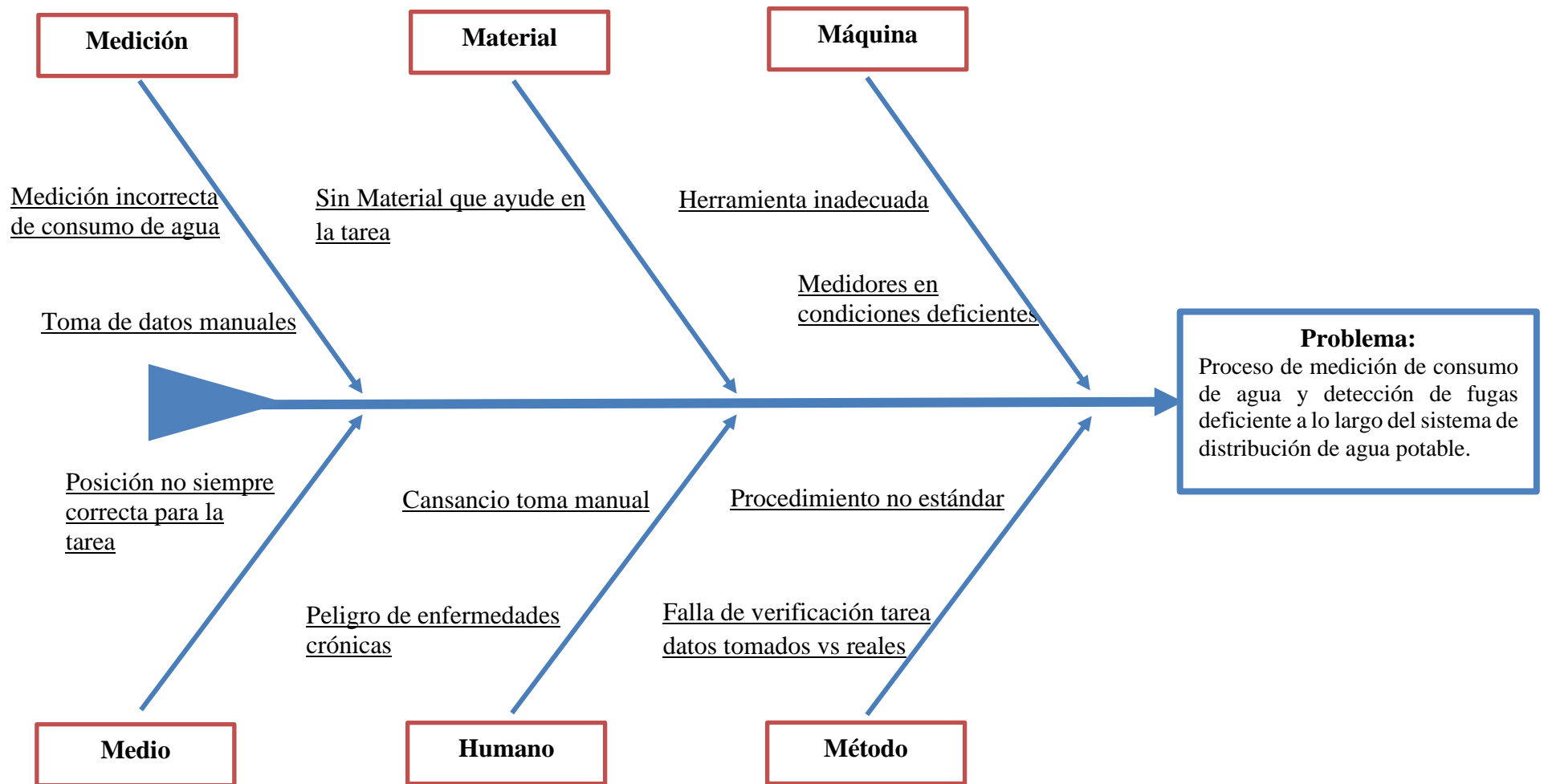
Categorización	Alcance como causa
Máquina (Tecnología)	En esta categoría se incluyen todas aquellas causas que pueden originar el problema planteado desde el lado de la máquina física, como elementos físicos, programación o comunicaciones del equipo donde se presenta el problema.
Método (Proceso)	En esta categoría se plantean las oportunidades que pueden ser causa del problema relacionadas a la forma en que se realiza la actividad. Estas oportunidades podrían generar el problema. Se evalúa de manera sencilla el procedimiento que se ejecuta en función del problema.
Material	En esta categoría se agrupan las causas relacionadas a los materiales físicos y tangibles que se consumen durante la actividad, evaluando si alguno de ellos genera el problema planteado o influye en él.
Factor Humano	Los factores relacionados con el comportamiento humano que pueden estar incidiendo en el problema. Muchos comportamientos que no están alineados a los esperados pueden ser causa de problemas.
Medición	La forma en que se realizan las cuentas, mediciones o controles en el proceso puede incidir en un fallo o problema. Aquellos procesos en los que se toman y manipulan datos pueden ser causa de problemas.

Medio	En esta categoría se incluyen las causas relacionadas con el entorno en el cual se ejecuta el proceso o la tarea. Este medio puede ser afectado por factores ambientales, limitaciones físicas, condiciones subestándares al esperado por el proceso.
--------------	---

Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

Con base en el diagrama de causa efecto explicado, se debe elaborar un diagrama de espina de pescado para el análisis del problema del objeto de esta investigación. Se debe observar en la Figura 6, se puede observar la construcción del diagrama realizado para el problema, Para ello se llevó a cabo el análisis de cada “M”, y mediante el cuestionamiento de cada razón en cada categoría, se identificaron las posibles causas que afectan los efectos o consecuencias descritas anteriormente.

Figura 6, Diagrama de casusa-efecto del problema



Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

A continuación, se desarrollan cada una de las posibles causas encontradas en el diagrama de la Figura 6, se realiza un análisis por cada una de las categorías y se desarrolla adecuadamente con la información obtenida en esta investigación. A continuación, el detalle:

Medición: en esta área, se han identificado dos factores que resultan problemáticos, tanto para el consumidor como para el administrador del servicio de agua. Primero el registro manual de los datos, que incide en el error en los datos, segundo en muchos casos la medición puede ser incorrecta, ya que los medidores no se calibran con frecuencia durante su vida útil, o sea, a menos que exista una queja de un consumidor, los medidores no recibirán ninguna inspección ni revisión de tendencia de consumo, y no se puede analizar estos datos.

Material: en este análisis no se encontró material de la tarea que tenga un impacto directo en la falla, para que un abonado tome los datos es necesario interpretar el medidor actual y sus respectivos números en metros cúbicos (m³) o litros según la designación existente. En la figura 7, se observa que la toma de datos puede ser compleja para una persona desde su posición respecto al piso, además para saber los valores consumidos por el mismo en el mes, esta medición requiere una conversión para pagar mensualmente, dejando sin posibilidad de corregir su consumo o mejorar el uso eficiente del agua.

Figura 7, Comparación de medidor datos versus posición de toma de los datos.



Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

Máquina (Tecnología): según el diagrama, no hay herramientas avanzadas para tomar datos y mucho menos para detectar pérdidas por fugas. La lectura actual solo toma una muestra momentánea, no una tendencia, entonces si se tiene fallas en las tuberías o pérdidas internas en la casa durante la noche es imposible detectarlo sin implementar tecnología que lo permita.

Como segundo factor en este apartado, se tiene la condición física de algunos medidores, esto se puede explicar cómo: si un medidor toma datos erróneos o no tomó datos durante un tiempo, solo se podrá detectar cuando se realice la medición nuevamente por el inspector de medidores, es decir, una vez al mes. Esta persona levantará la necesidad de remplazar al departamento de mantenimiento, en resumen, podría pasar desde el momento de la falla al momento del remplazó o corrección un plazo mínimo de casi 2 meses de mal funcionamiento.

Medio: El medio de la ejecución de la tarea es un punto de discusión, como la tarea es manual, es bastante complicado asegurar que siempre que la tarea realiza cumpla que:

- **Ergonomía:** La tarea debe ser ergonómicamente adecuada para el operador de medidores. Sin embargo, la posición durante la medición no es correcta y puede ser aún más complicada dependiendo del relieve del terreno donde se realiza.
- **Esfuerzo visual:** La lectura de los datos del medidor puede provocar esfuerzos físicos incorrectos que deben repetirse muchas veces durante el día, como se mostró en la Figura 7.
- **Exposición a factores climáticos:** Finalmente, la exposición a factores climáticos, previamente mencionados, puede causar daños en la piel, ojos o el desarrollo de enfermedades crónicas.

Factor Humano: Aunque el procedimiento de toma de dato se realiza manual, y en principio parece sencillo de ejecutar, existe creada una buena práctica de cómo realizarlo por parte de los operadores o supervisores de medidores, es importante mencionar que el AyA ha emitido un boletín de buenas prácticas para ASADAS. (AyA, 2023), ahora el tema del factor humano no está directamente relacionado con el procedimiento, se relaciona con la carga de trabajo y el cansancio que puede provocar al supervisor de medidores, realizar esta toma manual en lugares complicados de relieves complejos puede provocar temas físicos en la persona, y eventualmente ocasionar falla en la toma de datos.

Aunque se menciona levemente en medio, el tema de desarrollar enfermedades crónicas con la exposición a factores ambientales; es una realidad que puede suceder, desde frío y lluvias que provoquen daños en pulmones, hasta exposiciones prolongadas al sol que

puedan provocar daños en piel y ojo e inclusive algún tipo de enfermedad como el cáncer.

Método: La tarea a pesar de que es repetitiva y rutinaria, no muestra que use siempre la misma metodología de ejecución, por lo que se presta a errores en cada una de las etapas, principalmente dependiendo de la persona que ejecuta la toma de datos.

La mayor consecuencia que se evidencia es la falta de verificación de que los datos tomados sean consistentes, no muestren tendencias anormales o vacíos que no se detectan a corto plazo. Un ejemplo común compartido por el departamento de acueductos es que, cuando existe un reclamo por sobreconsumo, normalmente se presenta 2 o 3 meses después de ocurrido el evento. En la mayoría de los casos, esto se debe a fallas en el medidor local, y en menor porcentaje, a fugas internas en el hogar, tuberías muy viejas o malas prácticas de uso del agua.

Tomando en cuenta todo lo planteado anteriormente sobre el caso, el diagrama de espina de pescado con su análisis, la información compartida por el municipio y la investigación realizada se logra llegar al planteamiento del problema principal.

Basado en la investigación, se planteará de la siguiente manera:

¿Cómo convertir un sistema de medición de consumo de agua potable, ineficiente y falto de confiabilidad, en un sistema automatizado, autónomo energéticamente y amigable con el usuario, que optimice la confiabilidad al medir el consumo del agua, permita detectar fugas y monitorear datos para los usuarios del acueducto de Municipalidad de Paraíso?

1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.3.1 Objetivo general

Diseñar una solución automatizada, económicamente viable y autónoma en términos energéticos, que, tras una investigación exhaustiva, ofrezca una alternativa idónea al problema en cuanto a costo y alcance. Esta solución debe permitir el monitoreo frecuente de los datos y la toma de decisiones respecto a malas prácticas de consumo o fugas de agua.

1.3.2 Objetivos específicos

A partir del planteamiento del problema del proyecto, así como del objetivo general del mismo, se pueden definir objetivos más específicos que permitan establecer una métrica de cumplimiento para el proyecto. Estos objetivos específicos se enumeran a continuación:

1. Investigar soluciones tecnológicas de automatización aplicables al proceso de medición de agua y controles de distribución automatizados.
2. Crear un modelo de control a través de un microcontrolador, una base de datos y una interfaz de operador para mostrar las variables e indicadores de eficiencia, que permita a un operador en el departamento de acueductos detectar problemas con la distribución de agua residencial.
3. Entregar un prototipo funcional, una presentación del alcance y demás documentación de soporte para justificar la inversión.
4. Evaluar las capacidades del nuevo sistema, incluyendo ciclos por hora, horas de funcionamiento, y compararlas con el sistema actual determinando la ganancia en el proceso y su vida útil.

5. Investigar las limitaciones actuales para la implementación de un sistema automatizado de medición de agua dentro del cantón de Paraíso.
6. Crear manuales de funcionamiento del equipo basado en las condiciones de uso, integración a nivel de control y del sistema hidráulico.
7. Realizar un estudio costo beneficio el prototipo, plantear si el prototipo es una solución viable para la Municipalidad de Paraíso, y que además siendo beneficioso para el control del usuario sobre su consumo de agua.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 Alcances

Dentro de esta sección se establecen los alcances del proyecto, basados en las condiciones actuales del Municipio de Paraíso que se han identificado. También se considera la información que se puede descubrir durante la investigación en la formulación del proyecto, por ejemplo, algunos materiales de la tecnología existente que permitan expandir un poco más los alcances con la información adicional investigada.

a. Análisis de tecnologías

Durante la investigación y desarrollo de la solución, se van a considerar varias tecnologías, se aclara que en el alcance esta dado por los productos que durante la investigación cumplan que:

- Sean dispositivos diseñados para el ambiente externo considerando los factores climáticos adversos que se puedan tener, cumpliendo sus respectivas certificaciones para trabajar como equipo de medición.
- Los equipos seleccionados deben remplazar fácilmente las partes internas propias, para mantener la red de tuberías y para en caso de ser necesario proveerse localmente en tiempos razonables que no afecten el servicio hacia los consumidores.

- Se deben plantear soluciones afines a los conocimientos tecnológicos del departamento de acueductos, se brindará el entrenamiento necesario en la solución planteada, como alcance una presentación del producto que cubriría la necesidad en forma de prototipo, e información para la futura implementación a mayor escala.

b. Desarrollo de prototipo

Con los recursos disponibles por el sustentante de esta tesis, se generará un prototipo funcional que permita por un periodo mínimo de entre 15 días y 30 días, para obtener los datos necesarios para construir una base de datos que permita, simular la interfaz correcta del sistema de acueductos y del usuario final.

- Un modelo de toma de datos automático, el cual mediante una conexión de red permita que la información se pueda transferir también a una base de datos.
- La solución tenga interfaz que tome la información recopilada por circuito de control electrónico en la base de datos, y generar una interfaz gráfica que permita al abonado acceder a una interfaz gráfica, que permita comprender los valores de la medición, puede ser el cliente del servicio, o la persona de mantenimiento del sistema.
- Creación de gráficos de tendencia en aplicaciones tipo SCADA, que es el acrónimo de Supervisory Control and Data Acquisition (supervisión, control y adquisición de datos), que permita determinar fallas en el suministro de agua al consumidor final.

1.4.2 Limitaciones

Es importante acotar, dentro de esta investigación y proyecto, se tendrán algunas limitaciones en alcance y forma. Para poder dar visibilidad a estas limitaciones se han incluido en esta sección las limitaciones que podrían surgir durante la ejecución:

a. De equipos tecnológicos:

El uso de soluciones tecnológicas para el proyecto está limitado a un número finito de partes, marcas, y rangos, esto debido a los siguientes puntos:

- Limitación de presupuesto para el prototipo, que no permita generar una solución que sea lo suficientemente robusta para el uso externo, debido a que los componentes diseñados para estas condiciones pueden ser de muy alto costo.
- Gama de opciones, con el auge de la revolución industrial 4.0, conocida como la cuarta revolución industrial, en donde cambia la forma que operan los negocios y por lo tanto sus entornos tecnológicos. (España, 2024), las opciones de uso industrial para esta aplicación no consideran de momento la integración completa a la industria 4.0, por lo tanto, es probable que la solución tenga conectividad a nivel industrial pero no a nivel de la nube o diagnóstico de sí misma, esto no afecta la solución final, pero si deja abierta la oportunidad a mejorar el diseño en sí mismo.
- El departamento de acueductos puede ser una limitante para desarrollar un proyecto a gran escala, basado en la experiencia técnica actual y la esperada con la nueva tecnología. Este nuevo equipo de control automatizado va a requerir personal técnico calificado para administrarlo y utilizarlo.
- La capacidad de inversión de la municipalidad en este tipo de iniciativas, dentro de las instituciones del gobierno debe pasar por un trámite de tipo Cartel de Licitaciones por medio del SICOP (Sistema Integrado de Compras Públicas), en este sistema cualquier opción debe ser financieramente viable para ser considerada, y alcanzar los ofertantes correcto a nivel de inversión y plazo de entrega.

- Limitación para integrar con los sistemas de información municipales, por lo que se construye un sistema de datos paralelo y de manera demostrativo.

b. Entrega de partes del prototipo.

Lo referente al desarrollo de ingeniería, provisión de partes, incluyendo importaciones, tramites aduanales, instalación, pruebas de ingeniería, puesta en marcha y entrega del proyecto se podrán ver afectados por los tiempos de fabricación y disponibilidad de las partes en el mercado, por esto se ha representado en la Figura 8, el escenario ideal de ejecución que se verá en detalle más adelante. Este resumen de las actividades y sus respectivos avances está diseñado para llevar el control con el Tutor de este documento, así como con el encargado del acueducto del municipio.

Basado en este cronograma, se crearon las etapas y objetivos de cumplimiento de este proyecto.

c. De creación del prototipo:

El prototipo planteado en este documento será creado con los componentes, que serán seleccionados durante las investigaciones a efectuar en los capítulos posteriores, pero se debe recordar que, si bien este prototipo debe cumplir con todo el alcance del proyecto, puede que su versión final sea de diferente construcción debido a: materiales, resistencia al medio, costo y vida útil. Sea más acorde a lo esperado por parte de una implementación masiva en el municipio.

De ser necesario, se plantearán en las conclusiones de este mismo documento, incluyendo cualquier limitación adicional con el uso de estos componentes o relacionados al proyecto su alcance, tiempo y presupuesto.

d. Investigaciones en proyectos similares

Aunque este problema definido no es totalmente nuevo, no existe a nivel de país una solución que permita resolverla, porque cada gobierno local y el mismo AyA han desarrollado proyectos de telemática con diferentes alcances, no integrales a lo propuesto. Este tipo de soluciones lo plantean organizaciones como OMS y UNICEF, que evidencia el faltante de los recursos hídricos para el año 2030. (BBVA, 13).

Países desarrollados ya trabajan en automatización de estas áreas, incluyendo incorporación de la internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés), para el manejo de la información de un recurso que cada vez es más escaso en el planeta. Aunque Costa Rica tiene múltiples fuentes de agua no está exenta de la escasez. Así que, en este proyecto, se investigará en otros países con propuestas más avanzadas los resultados y beneficios que se pueden lograr con este tipo de automatización.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se mostrará y analizará el problema desde el punto de vista de fundamentos técnicos de automatización, y se analizará las opciones de como esta automatización de captura de datos es realizado en países desarrollados, ya sea con soluciones similares creadas, si no existiera una solución técnicamente viable; explorar las posibilidades de una solución completamente nueva, que cumpla con lo planteado en el capítulo 1 de este proyecto.

Preliminarmente se propuso un diseño de un control automatizado, con captura de datos a una nube de almacenamientos, y una interfaz de uso que sustituya la labor del supervisor de medidores que toma los datos. A partir de esta definición de diseño preliminar; se debe plantear los fundamentos de la automatización que debería cumplir para este proceso de solución existente adoptada o bien le diseño de una nueva.

2.1 FUNDAMENTOS DE LA AUTOMATIZACIÓN:

Aunque la cultura popular en la industria hace pensar que la automatización no obedece a un conjunto de reglas escritas, sino más bien a la interpretación de soluciones a través de dispositivos de control autónomo creado por cada uno de los diseñadores o programadores responsables de la solución; existe para este apartado un grupo de fundamentos que rigen el correcto diseño de soluciones autómatas para la industria. En este apartado se hace un llamado a estos conceptos básicos de la automatización, con la finalidad de utilizarlos en la solución a plantear, y que la misma cumpla con estándares internacionales de diseño de automatización.

Se inicia por definir el concepto de automatización, que según (Mireya Zapata, 2021), viene del griego **autos** que significa “por sí mismo”, y **maiomai**, lanzar. Explicado en idioma español sería como “actuar por sí mismo”.

Los fundamentos que debe cumplir la solución para que actúe por sí misma, capture los datos y lo muestre de forma automática, serán explicados en el siguiente apartado, el propósito es tener el mínimo o nula interacción humana en el proceso.

2.1.1 Componentes del Automatismo:

A continuación, se enumeran los elementos propios de la automatización, conocidos en la industria actual:

- **Mando:** Es el sistema o control encargado de realizar la solicitud de la tarea o tareas en el sistema auto manó. También puede realizar funciones de cambio de velocidad de ejecución, paro de proceso, cambio de formato, etc.
- **Control:** Encargado de recibir toda la información del mando, del estado de la máquina, sensores o cualquier otro dispositivo que suministre información, todo esto se usa para ejecutar su lógica de control interno y realizar las acciones esperadas sobre la máquina.
- **Actuadores o Salidas:** son los encargados de ejecutar las decisiones tomadas por el control, en este apartado se clasifican: válvulas, motores, brazos robóticos, pistones neumáticos o hidráulicos, o cualquier tipo de dispositivo asignado a la ejecución de la tarea. Para esta investigación se debe considerar se tiene una salida, esta hace referencia a las interfaces de usuario, necesarias para mostrar y analizar la información solicitada.
- **Sensores:** Aunque la palabra limita un conjunto de dispositivos de detección, realmente hace referencia a cualquier dispositivo electrónico con la capacidad de captar un evento y enviarlo al control, algunos de ellos son: sensores magnéticos, inductivos, capacitivos, infrarrojos, de temperatura, de medición, cámaras de una o dos dimensiones, etc. Si se contextualizando esta sección, en el proyecto se refiere al medidor de flujo, es decir el transductor mecánico convierte la energía mecánica en cuentas.

Un control de automatización estándar tendrá la forma presentada en la Figura 9, donde se muestra el flujo correcto de cada elemento y su interacción para un sistema de automatización.

Figura 9, Diagrama de Flujo de Sistema control automático.



Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

2.1.2 Diseño del automatismo

Existe una metodología de gestión de proyectos, que es diferente a la de metodología de desarrollo de la tecnología. Para esta sección se debe enfocar el estudio en la metodología de trabajo del proyecto, y no de su gestión.

Durante la cuarta revolución industrial, conocida como industria 4.0, se aceleró el uso de los sistemas de automatización orientada a maximizar la productividad y eficiencia,

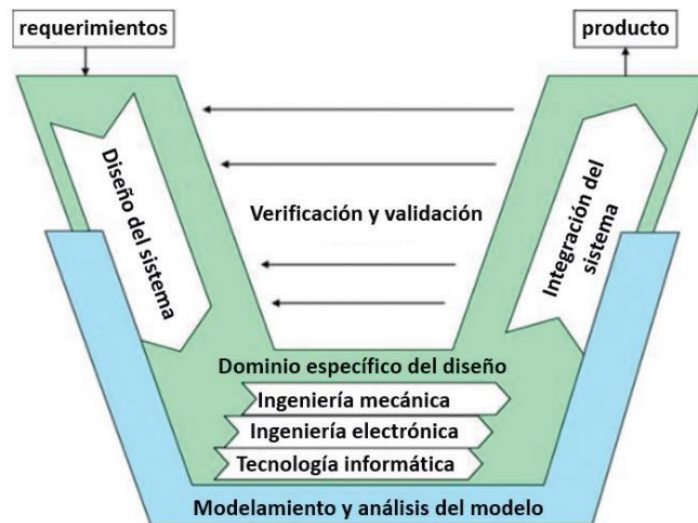
disminuyendo y controlando todos los riesgos propios del proceso por medio de un monitoreo más cercano.

Esta integración de todo el equipo físico con la programación del software en desarrollo de sistemas mecatrónicos que involucran todos los campos necesarios finalmente llevó a metodologías más estructuradas; entre ellas la más conocida es la denominada Modelo V. En la figura 10, se muestra la representación de este modelo, que consiste en una metodología para el desarrollo de productos tecnológicos, y lleva al diseñador en una serie de pasos hasta obtener el producto deseado, resumiendo este proceso, se debe considerar:

- Identificación de los requerimientos, como se planteó en el capítulo I, este proceso debe definir claramente: que se necesita, cuáles son los alcances, y las limitaciones del problema que se planteó, así como las expectativas del departamento de acueductos para la solución.
- Diseño del sistema, un planteamiento a nivel macro, con metodología, informaciones tecnológicas, mercado, selección de los componentes; esto es lo que contiene el capítulo II de este documento, así como la ejecución de este planteamiento en el capítulo V.
- Dominio específico del diseño, donde se le da forma a cada elemento individual entrelazando todo para una función; a nivel eléctrico, mecánico y de software, a través de planos, arquitectura, programación, y montaje. Mucho más detalle de este apartado es presentado en el capítulo 5.
- Integración del sistema, este apartado debe considerar la interacción de la solución con el medio, no solo físico, también de integración lógica a sistemas existentes, acá se consideran las redes de telecomunicaciones, a nivel de programación con administradores de bases de datos y redes con sistemas de información.

Después de un proceso de verificación y validación versus los requerimientos planteados se debería obtener el producto, y la solución al problema planteado, a través de un prototipo.

Figura 10, Modelo V (VDI Guideline 2206: Design methodology for mechatronic systems)



Fuente: (Mireya Zapata, 2021)

2.1.3 Medición de flujos

Para la medición de flujo similares a los de medidores analógicos existentes en el municipio, es necesario aplicar la medición por medio de la selección para la aplicación correcta, entre los medidores más comunes tenemos:

- Medidores de Presión diferencial: miden la caída de presión a través de un cambio en la presión de la tubería.
- Medidores de desplazamiento positivo: miden el volumen del líquido atrapado en las cámaras.
- Medidores ultrasónicos: utilizan las ondas sonoras para medir la velocidad del fluido.
- Medidores electromagnéticos: Funcionan bajo la ley de Faraday, midiendo la velocidad de un líquido conductor.

Para el proyecto, se ha seleccionado un medidor de desplazamiento positivo, que, mediante la medición de la frecuencia de flujo del transductor de posición, puede determinar el volumen de agua que fluye en el sistema. Como se muestra en la Tabla 4, existe una relación directa entre la frecuencia registrada por el sensor y los litros por hora que se pueden contabilizar.

Tabla 4, Relación de Frecuencia y flujo del sensor por desplazamiento.

Flujo (Litros/Hora)	Frecuencia (Hz)	Error %
120	16	10
240	32.5	
360	49.3	
480	65.5	
600	82	
720	90.2	

Fuente: Hoja características Sensor YF-21 (DIGITEN, 2020)

2.2 TEORIAS DE MEDICIÓN AUTOMATIZADA DE CONSUMO DE AGUA.

Aunque es probable que el problema planteado en capítulo I sea común a nivel mundial, algunas soluciones ya han sido exploradas en países desarrollados, este tipo de soluciones globales, lo plantean organizaciones como OMS y UNICEF, que evidencia el faltante de los recursos hídricos para el año 2030. (BBVA, 13) (Naciones Unidas, 2023), no existen referencias directas a una sola solución, sino a mecanismos que ayuden a la preservación del agua. Para este proyecto, se investigan algunas referencias de soluciones similares, en este apartado se

analizará algunos ejemplos de otros países con sus soluciones, y los conceptos más importantes a ser considerados para construir el prototipo y la solución correcta.

2.2.1 Contadores Inteligentes para mejorar la gestión del agua

Se ha encontrado durante la investigación, que, en países con mayor desarrollo económico, como España, ya se han implementado prototipos para la medición mediante un sistema de agua inteligentes.

En el caso específico de Badajoz, España, el sistema inteligente puede determinar las fugas en las tuberías de agua que provocan el desperdicio del agua, esto gracias a una cooperación entre la empresa privada y pública. En este municipio se han instalado 1200 contadores que dan cobertura al 12% de los hogares del pueblo (Delgado, 2019).

Este es un buen ejemplo de cómo la implantación de nuevas tecnologías en pequeñas ciudades y en el entorno rural ofrece la oportunidad de mejorar la gestión y el control del consumo de agua, uno de los bienes más básicos y necesarios para la vida.

Acceso permanente a la lectura, registro de consumo por horas o la realización de estimaciones para regular el abastecimiento, son factores fundamentales para optimizar los recursos, tanto hídricos, como económicos, de las mancomunidades en las zonas menos pobladas.

Los operadores de agua serán capaces de obtener información de consumos de forma telemática, lo que llevará a mejoras en la gestión de las redes, la detección de fugas, la optimización del agua abastecida, la mejora y personalización del servicio que recibe la ciudadanía.

Los tres fabricantes que han sido invitados a presentar propuestas en el 2020 del proyecto fueron: Dynamic Consulting - Abering Contadores de Agua - Gómez Group Metering (España). Hydroko, Ng (Bélgica) y Telereading (Italia) (Touchais, 2020).

De estos tres ya hay actualmente prototipos funcionando en comunidades como la de España.

En la figura 11, se observa una de las soluciones propuestas por Promedio, es el operador público de estos servicios.

Figura 11, Ejemplo Medidores Smart del grupo Promedio



Fuente: Pagina Web Smart.met. (Touchais, 2020)

Esta solución consiste en:

- Proveer información con exactitud en tiempo real diariamente.
- Reducir el manejo diario de las líneas de distribución.
- Ahorrar en costos de operación.
- Priorización en inversiones de infraestructura.
- Mejora en el servicio al cliente.

2.2.2 Medidores de flujo de agua servicio interno para viviendas, Domótica

Existen en el mercado, soluciones para la gestión inteligente de todos los aspectos relacionados a la seguridad, bienestar y comodidad en las viviendas o edificios; esta rama de soluciones es conocido como domótica. Dentro de este grupo de soluciones ya existen medidores inteligentes para las tuberías internas de las viviendas.

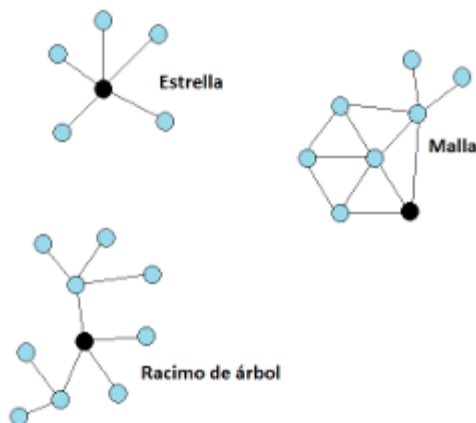
En este caso de estudio se detallan las soluciones por parte de un fabricante de equipos de domótica que utilizan los protocolos ZigBee.

ZigBee es un protocolo de comunicación inalámbrico basado en el estándar IEEE 802.15.4 de las redes inalámbricas WPAN. Esta tecnología es impulsada por ZigBee Alliance y permite interconectar más de 2 nodos logrando transferencia de datos. Maneja velocidades de transmisión entre 20 y 250 Kbps, funcionando en la banda sin licencia de 2,4 GHz Osorio, para 8 enlaces con alcance de 40 m en interiores (edificios de oficinas, domicilios) y 120 m en exteriores (con línea de vista). (Granados & Perez, 2017) Este protocolo es utilizado actualmente para desarrollos en domótica, gracias a su poco consumo de energía, la topología de red en malla y su fácil integración con elementos electrónicos; su aplicación facilita procesos de monitoreo, control de iluminación, calefacción, riego.

Esta tecnología soporta tres tipos de topología, como vemos en la Figura 12, y se explica

- Estrella: presenta larga vida útil como consecuencia del bajo consumo que requiere.
- Malla: en la cual existen múltiples rutas para alcanzar un destino, obteniéndose alta confiabilidad.
- Racimo de Árbol: es una topología del tipo Malla-Estrella que encierra los beneficios de ambas.

Figura 12, Topología Protocolos ZigBee



Fuente: Investigación Granados y Pérez. (*Granados & Perez, 2017*)

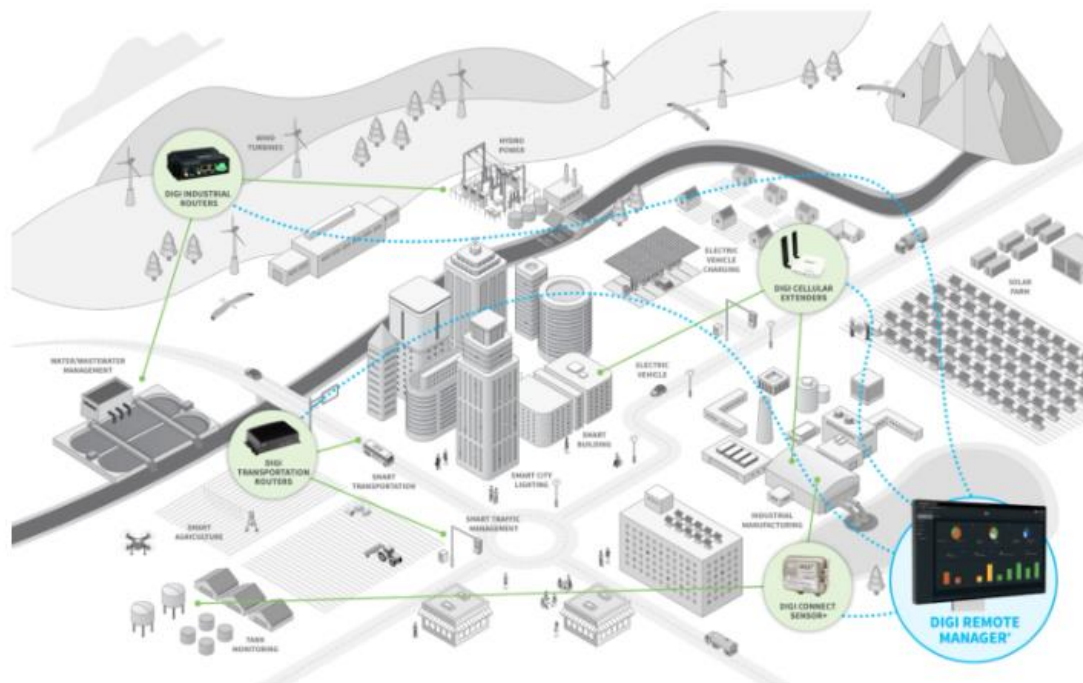
Principio de Funcionamiento:

A través de un medidor de agua doméstico, ya sea de flujo de agua o de caudal, instalado en una de las tuberías internas de la casa, se realizan las mediciones de los volúmenes que son transmitidos, a un chip de módulo Xbee, fabricado por la compañía DIGI.

La infraestructura de conexión de DIGI permite conectar diferentes soluciones de medioambientales a módulos de comunicaciones para obtener los datos en el momento adecuado. Según su sitio web, esto permite que los “Los sistemas de control medioambiental requieren conectividad para supervisar los niveles de los depósitos industriales y comprobar las fugas de agua y las emisiones químicas. Detrás de todo esto, la conectividad inalámbrica y las soluciones celulares de DIGI permiten comunicaciones y enrutamiento de datos rápidos, fiables y seguros.” (Digi International Inc, 2024)

Aunque las capacidades de estos sistemas pueden considerarse muy amplias como se muestra en la Figura 13, donde se conectan diferentes tipos de industrias a través de redes celulares, routers y sensores inalámbricos para monitorear todo el proceso de una industria desde su llegada materiales, manufactura y desechos, para este caso de estudio del marco teórico se utilizó una aplicación de red local, dentro de la casa.

Figura 13, Soluciones de Digi en redes



Fuente: Aplicaciones de Tecnología Verde. (Digi International Inc, 2024)

Esta solución se plantea a través de un controlador Arduino, que es un controlador de una plataforma electrónica de código abierto basado en hardware y software, fácil de programar.

Se recopila la información necesaria del sensor para proyectarla a algún tipo de centro de comandos que permita la visualización y procesamiento de los datos obtenidos.

Este diseño proporciona como resultado un control eficiente de agua en el hogar de aplicación a través de la plataforma Arduino. De este proyecto se evidenciaron los siguientes resultados:

- En el proceso de monitorear el consumo de agua, se ayuda a reducir los gastos excesivos
- Se logra introducir el protocolo de comunicación Zigbee como una herramienta.
- Se puede ver en tiempo real el consumo de agua en el grifo.

2.2.3 Medidores de flujo de agua por ultrasonido no invasivo.

La medición de caudal de líquidos se realiza tanto en la industria como en hogares basado en diversos principios físicos.

Por un lado, el caudal de un líquido o gas se puede determinar directamente mediante un sensor de caudal como los mencionados en las dos teorías anteriores. Por otro lado, puede ser controlado y supervisado por un transductor de medición que se abordará en este apartado.

Dependiendo de la aplicación, el tipo de fluido y la temperatura de los líquidos, pueden usarse diferentes caudalímetros o monitores de caudal. Una marca que ha desarrollado estos equipos es Kobold Messring GmbH; que ofrece una amplia gama de caudalímetros de alta calidad, desde los simples interruptores de paletas hasta caudalímetros coriolis másicos de alta precisión para los diferentes tipos de aplicaciones. (KOBOLD Messring GmbH, 2024)

La monitorización y medición de caudales de fluidos viscosos, como aceites; se pueden medir con diferentes principios, tales como:

- Caudalímetros de ruedas ovas.
- Caudalímetros de engranajes.
- Caudalímetros especiales de área variable.

Estos caudalímetros se caracterizan por una larga vida útil y alta eficiencia. La demanda creciente de dispositivos de medición sin partes mecánicas móviles, principalmente para evitar los desgastes que sufren con los líquidos y sus diferentes viscosidades, se cubre desarrollando otras técnicas de medición como los caudalímetros Ultrasónicos, caudalímetros Magnéticos y caudalímetros Vórtex.

Monitorización del caudal mediante un caudalímetro

Los medidores de caudal se utilizan en muchas industrias, particularmente en el área de producción automatizada. Los caudalímetros permiten un control exacto, así como preciso del caudal, pueden actuar rápido y de modo automático. De esta manera, se hace una distinción entre dos tipos de sistemas: el que controlan el caudal activando una acción cuando se alcanza un cierto caudal, y aquellos sistemas que, como sensores de caudal, solo miden el caudal.

Ambos tipos de sistemas ofrecen un gran número de variaciones y opciones. Los sensores de caudal pueden equiparse con la pantalla correspondiente que permite una lectura directa del caudal.

En la Figura 14, se puede observar una combinación de tipos y sistemas de monitoreo, Por medio de un transmisor, algunos de los medidores de caudal también pueden conectarse a sistemas de adquisición de datos, desde la cual se puede acceder a los datos de los caudalímetros. Esto asegura una supervisión continua del caudal sin ningún problema.

Figura 14. Tipos de caudalímetros.



Fuente: Sitio Web de Kobold. (KOBOLD Messring GmbH, 2024)

Particularmente en el caso de grandes plantas de producción continua, las incidencias y problemas pueden ser rápidamente identificadas y corregidas. Gracias a la gran flexibilidad en el diseño, estos se pueden instalar fácilmente en una amplia variedad de sistemas.

Dentro de esta familia de dispositivos, también se encuentran aquellos adaptados a la viscosidad de los líquidos, su presión y temperatura. El caudalímetro más adecuado se puede seleccionar rápidamente para cada aplicación, proporcionando los datos correctos de viscosidad, temperatura y caudal del líquido que se desea medir.

2.3 CONTEXTUALIZACION DE LAS TEORIAS PLANTEADAS PARA EL PROBLEMA.

En este apartado, se deben analizar las teorías presentadas en la sección 2.2 del capítulo, y situarlas en el contexto del problema. El objetivo es definir cuál de las teorías es más viable a nivel de solución práctica y económica para el problema.

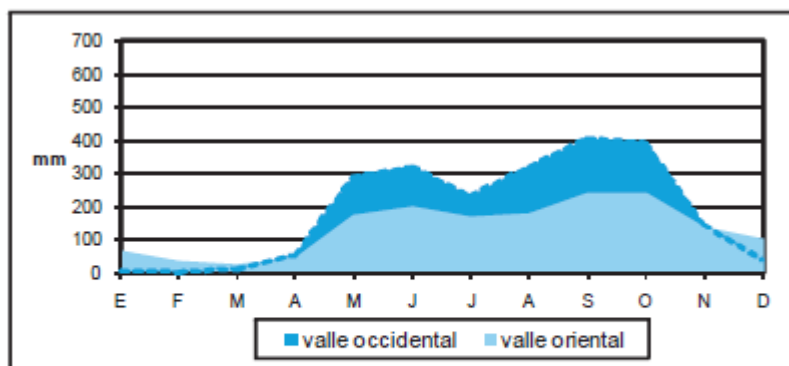
Ahora se debe contextualizar cada teoría en el entorno que será aplicada, su coste de implementación, la facilidad que puede ser integrada con el equipo actual de tuberías de suministro, y su viabilidad para una implementación a gran escala.

2.3.1 Contexto, el entorno donde será aplicado:

Se debe definir el entorno donde se aplicaría la solución, tal como se planteó en el capítulo I, el equipo necesita ser capaz de ser instalado en exterior de las viviendas, es decir, fuera de la residencia, expuesto a las condiciones climáticas de la zona, para el contexto del proyecto se tomó como referencia del Instituto Meteorológico Nacional y su reporte de Clima por regiones. (IMN, 2021). El clima en el valle oriental formado por valles de El Guarco y Orosi corresponde a un clima templado, un poco más lluvioso y frío, característico de las zonas montañosas. Como se observa en la figura 15, se muestran los datos de precipitación de esta zona, haciendo nota

importante, en el promedio es una de las zonas más secas del país y a la vez, presenta el mayor núcleo de precipitación en una zona de Orosi, Paraíso de Cartago, donde la estación meteorológica Tseis registra en promedio más de 7000 mm por año.

Figura 15, Precipitación Mensual Valle Central



Precipitación mensual promedio en los valles occidental y oriental de la Región Central de Costa Rica. 1961-1990.

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional. (IMN, 2021)

2.3.2 Contexto, coste de implementación esperado.

En este apartado, aún no se dispone de los costos reales de implementación. Sin embargo, es posible calcular un costo aproximado utilizando los datos disponibles de cada fabricante para equipos similares al problema en cuestión. Dado que no se cuenta con costos oficiales, se estima el impacto del valor en la escala definida a continuación para propósitos de toma de decisiones, se consideran todas las opciones:

- Rango bajo o menor a \$500 USD.
- Rango medio, entre \$500 USD y \$1000 USD,
- Rango alto mayor a \$1000 USD,

Se entiende de esta escala el valor por cada unida que se debe instalar por residencia, considerando únicamente el costo por equipo, sin incluir costos adicionales de ingeniería detallada, planos, software.

2.3.3 Contexto, capacidad autónoma de la solución:

En este análisis, evaluamos la practicidad de integrar la solución en el entorno actual del municipio, así como en las tuberías y medidores mecánicos existentes.

En este criterio que tan autónoma es la solución, si puede funcionar de manera independiente sin incurrir en altos costos de mantenimiento. También se considera si requiere alimentación, comunicaciones u otros servicios por parte del cliente. Para una mejor evaluación de las teorías, se plantea los siguientes puntos de evaluación:

- Alta: Es totalmente autónomo, requiere baja frecuencia de mantenimiento.
- Media; Es Semiautónomo, requiere algún servicio del cliente y mantenimiento ocasional
- Baja: La solución es completamente dependiente de los servicios del cliente, y su mantenimiento es ocasional o alto en frecuencia.

Como se observa en la Tabla 5, cada una de las teorías será evaluada bajo los criterios planteados.

2.3.4 Contexto, cumplimiento de requerimiento y objetivos del proyecto:

Quizás es uno de los puntos más decisivos de este capítulo, se aclara que este análisis está fundamentado únicamente en aspectos técnicos. En el capítulo 3, en el marco metodológico desde el punto de vista de una solución al resultado de la investigación, que, según el análisis ampliado, debería cumplir con lo planteado en el problema original. De esta manera se resume en:

La teoría 1, cumple con la solución del problema original. Los contadores de agua ya han sido desarrollados en un concurso presentado en Europa, solo es necesario considerar si pueden ser adaptados a nuestro entorno.

La teoría 2, también cumple como solución al problema, el sistema de medición de Domótica es aplicable, pero requiere recibir varias modificaciones para ser empleado en el exterior de las residencias.

La teoría 3 cumple con lo esperado, más sin embargo requiere de equipo adicional para cubrir el problema completo, ya que esta teoría solo incluye el medidor ultrasónico, pero le falta toda la integración con el medio, bases de datos, recolección de información, etc.

2.3.5 Análisis de resultados de los valores de contexto aplicados.

Una vez revisada toda esta información de contexto, en la Tabla 5, se muestran los planteamientos para cada una de las teorías, y de esta manera entender la mejor opción teórica en los contextos establecidos para el marco teórico.

Tabla 5, Resumen de contextos de cada teoría

Planteamiento Marco Teórico	Contexto	Contexto	Contexto	Contexto
	Aplicación en el Entorno	Costo implementación	Autonomía tecnológica	Cumplimiento Objetivos
Teoría 1	Aplicable	Medio	Alta	Cumple
Contadores de inteligentes de agua para mejora de la gestión.				
Teoría 2	Aplicable con condiciones adicionales	Bajo	Media	Cumple, con medidas adicionales
Medidores de flujo de agua servicio interno para viviendas, Domótica				
Teoría 3	Aplicable con condiciones adicionales	Alto	Baja	Cumple, con medidas adicionales
Medidores de flujo de agua por ultrasonido				

Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024).

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para definir el tipo de investigación, primero se debe introducir el objetivo, por eso, esta sección contiene una introducción de todo el capítulo. En este capítulo se expondrá el método de la investigación y el motivo de esta para el proyecto, con el propósito de plantear el problema en su condición actual, utilizando las herramientas de investigación que permita determinar las condiciones actuales y las condiciones esperadas posterior a la implementación de la solución. Considerando que la solución tecnológica podría minimizar o eliminar el problema, todo se considera en el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

A nivel de proceso de investigación, se debe plantear con qué método de análisis de variables se va a trabajar, la recolección de la información necesaria e investigar los datos faltantes para desarrollar las conclusiones.

En los siguientes apartados, se desarrollan los fundamentos de esta investigación, iniciando con el orden de cada fundamento que se va a desarrollar en el marco de la investigación:

- Enfoque de la investigación
- Finalidad de la investigación
- Dimensión temporal
- Marco de la investigación
- Naturaleza de la investigación
- Carácter del proyecto

En muchos textos se encuentran diferentes definiciones de, ¿Qué es una investigación? Para este caso, se adopta una definición que involucra todos los conceptos que se deben transmitir:

“Es el procedimiento por el cual se llega a obtener conocimiento científico, pero, no existe un método absolutamente seguro para eliminar el error en la elaboración y validación de las teorías científicas, sino que tal procedimiento es relativo según cada momento histórico e incluso según la naturaleza del conocimiento que se trata de lograr”. (Sarramona, 2023)

Basado en este concepto y en los tipos de investigaciones existentes, se definió la presente investigación como de tipo: **No experimental**; del tipo: **Exploratoria-Descriptiva**, ya que no se tiene control sobre las variables independientes de un sistema, que ya está implementado y funcionando. Por lo tanto, se limita a la observación de las condiciones actuales, sus variables y efectos visibles.

3.1.1 Enfoque de la investigación

Para el presente proyecto, se ha propuesto un enfoque Cuantitativo. Este enfoque se fundamenta en los aspectos observables y susceptibles de cuantificar, dado que no se tiene control de todas las variables de la investigación, se requerirá a los datos que permitan demostrar durante la investigación la solidez y congruencia de la solución planteada para el problema. Dentro de las investigaciones no experimentales, se pueden ubicar las exploratorias, las descriptivas y las correlacionales. Para el enfoque seleccionado, se utilizarán investigaciones exploratorias y descriptivas, con el fin de soportar adecuadamente el enfoque propuesto.

3.1.2 Finalidad de la Investigación

A través de la investigación mencionada, exploratoria-descriptiva, se espera describir las situaciones y eventos relacionados al problema de medición y control de consumos de agua del problema.

Según el autor Dankhe, estas investigaciones buscan especificar las propiedades importantes de una persona, grupos o cualquier otro fenómeno que sea sometido al análisis. También miden de manera independiente las variables relacionadas con el problema. Aunque su objetivo no es explicar cómo se relacionan entre sí, se enfocan en indicar cómo la solución puede ayudar a mejorar el proceso de las variables planteadas. Se debe recordar que la finalidad de los estudios exploratorios es ayudar a obtener, con relativa rapidez; ideas y conocimientos en una situación en particular. Es un tipo de investigación extremadamente útil como paso inicial en los procesos de investigación

3.1.3 Dimensión Temporal

La dimensión temporal, tal como se sugiere en la Metodología de Investigación (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2010), debe plantearse en términos temporales y esbozar un perfil de las unidades de la investigación. Relacionando estos conceptos con la metodología de análisis de brecha, se debe ubicar un estado actual de la situación de: medición y control de consumos de agua del problema; en una línea de tiempo teórica futura.

Es necesario prever cual sería el resultado de esa situación futura, considerando los resultados una vez se haya implementado la solución a un nivel superior, este análisis temporal en caso de esta investigación se mantiene teórico, pero que permite definir el resultado a esperar y los impactos que estos significan a nivel económico del proyecto. Planteado esto, se tiene que

para este caso de investigación se refiera solamente a su vida útil, dejando la instalación y desecho por fuera. Esto plantea como alcance temporal: la interacción del problema por el operador y usuario solo durante su fase de funcionamiento actual, para condiciones actuales y futuras esperadas de la solución que se implemente.

3.1.4 Marco de la Investigación

La investigación se basa en las teorías planteadas en el capítulo II como soluciones del proyecto, en comparación con problema definido en el capítulo I; esta investigación tratará de confirmar o desechar si las teorías del problema, como soluciones planteadas, son efectivamente racionales según lo obtenido por la investigación cualitativa del problema.

Es importante recordar que el proyecto busca brindar una solución tecnológica autónoma alineada con los objetivos del problema identificado en el capítulo I, por lo tanto, la investigación debe apoyar o fundamentar mediante la metodología que el problema es real, contextualizando sus alcances y límites. Para lograr esta correlación de datos, se tomará la información disponible de dos fuentes principales: la primera es la información pública disponible en los canales de comunicación oficiales de la municipalidad de Paraíso, como por ejemplo su página web: <https://www.muniparaiso.go.cr> ; así como los artículos, reportes de reuniones o sesiones de regidores disponibles para uso público, la segunda fuente se utilizará la que obtengamos directamente del departamento de acueductos y sus respectivos representantes.

3.1.5 Carácter de la investigación

Al resumir lo planteado en las secciones anteriores, se concluye que la investigación posee un carácter exploratorio descriptivo.

Carácter Exploratorio:

Cuando se habla de investigación exploratoria, se refiere al tipo de investigación que se emplea con el objetivo de estudiar un problema que no está claramente definido; bien porque es poco conocido, o porque ha sido poco estudiado en la situación actual. De esta forma, este tipo de investigación ayuda comprender el tema y obtener una perspectiva más general que permita orientar actual y posteriormente a otras investigaciones más específicas.

Carácter Descriptiva:

La investigación descriptiva, se encarga de puntualizar las características de la población que se está estudiando. Esta metodología se centra más en el “qué”, en lugar del “por qué” del sujeto, grupo o tema de investigación.

En otras palabras, su objetivo es describir la naturaleza de un segmento demográfico o una condición existente, sin centrarse en las razones por las que se produce un determinado fenómeno. Es decir, “describe” el tema de investigación, sin cubrir “por qué” de su ocurrencia.

3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

En este apartado se presenta el origen de los datos expuestos en esta investigación. Es importante aclarar que la información brindada, la observación y el análisis será el centro de la investigación, pero para una mayor claridad de cada fuente se ha subdividido en dos apartados: fuentes primarias, y fuentes secundarias.

3.2.1 Fuentes primarias

Las fuentes primarias para esta investigación se basan en la información que se obtiene directo en la fuente del problema, se consideró por tanto los siguientes puntos de información:

- Documentos públicos de la Municipalidad de Paraíso, y del AyA.

- Observación de la tarea y sus respectivas derivaciones propias de la actividad de medición.
- Información obtenida directamente del departamento de acueductos de la municipalidad de Paraíso.
- Entrevista al ingeniero encargado de acueductos, y a dos o más operadores de medición de medidores públicos.

3.2.2 Fuentes secundarias

En el apartado de fuentes secundarias, se hace uso de la información complementaria para el proceso de investigación. Esta información proporciona claridad en las dudas que puedan surgir de las fuentes primarias, basándose en los siguientes criterios

- Investigaciones similares realizadas en el país o en el extranjero, con alcances alineados con la problemática planteada.
- Tesis y documentos universitarios de proyectos similares.
- Documentos con información no directa del problema, pero sí de procesos anexos, como de Instituto Nacional de Seguros (INS), o del Instituto Nacional de Estadísticas y Ciencias (INEC), referentes a las actividades similares.
- Información disponible sobre el uso de los equipos seleccionados incluyendo:
 - Fichas técnicas de los productos
 - Diagramas eléctricos de conexión
 - Manuales de uso del equipo
 - Fichas de seguridad si existe.

Además, se considerarán documentos bibliográficos sobre el diseño, método e implementación de investigaciones de enfoque social-ingenieril que puedan aportar claridad a los puntos discutidos.

Se puede resumir esta sección de fuentes de información con las definiciones de la investigación mostradas de manera resumida en Tabla 6, donde se presenta la idea central de la investigación, así como los puntos más destacables de cada apartado.

Tabla 6, Tabla de ideas centrales del marco metodológico

Tipo de Investigación No Experimental	<ul style="list-style-type: none"> • Metodología Exploratoria, busca la mejor solución para el problema. • Metodología Descriptiva: Permite describir analíticamente los escenarios.
Tipo de Enfoque	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar de manera cuantitativa la situación actual. • Proponer la solución con una medición cuantitativa del prototipo..
Finalidad de la Investigación	<ul style="list-style-type: none"> • Basado en técnicas previas de investigación, proveer la solución que más se adapte al problema. • Seleccionar los equipos correctos para el medio físico y temporal del problema.
Dimensión Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe definir los límites de uso del prototipo, en tiempo vida útil y medio de funcionamiento. • Definir ciclos óptimos de funcionamiento del equipo sin mantenimiento.
Fuentes de Información	<ul style="list-style-type: none"> • Primarias: la información obtenida directamente de la fuente, entrevistas y observación. • Secundarias: esta información viene a proveer claridad en las dudas que nos pueda presentar las fuentes primarias, tesis, libros, proyectos similares, manuales de productos.

Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024).

3.3 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS

La investigación se basará en varios instrumentos y herramientas para recolectar información con un enfoque cuantitativo. Es decir, se utilizarán instrumentos para medir variables y recolectar la información necesaria. Con el enfoque propuesto cuantitativo, se necesitarán datos concretos para el análisis en la investigación.

Los instrumentos propuestos son la observación y la entrevista, que se detallan a continuación.

3.3.1 Observación

Se debe recordar que según Barrantes “La observación permite ver más cosas de las que se observan a simple vista”. (Rodrigo, 2007), Para que esta herramienta sea útil en la investigación se deben plantear algunos conceptos en la observación:

- Como y cuando realizar la investigación: Para esto se definió que la observación se realizara en el sitio de medición, que permita observar la tarea y cuantificar sus puntos positivos y oportunidades.
- Que sea de modo sistemática, que responda a las tres preguntas:
 - ¿Que se observó?
 - ¿Como lo hizo?
 - ¿Cuándo lo hizo?

Este planteamiento debe lograr realizar la observación sistemática, se recomienda crear algún tipo de formulario orientado a el enfoque cuantitativo, y que cumpla el modo sistemático.

Se ha creado una hoja de cotejo, se refiere a una matriz de doble entrada en la que se anota en una sección los conceptos para observar, y en una segunda sección de la matriz la calificación que se le otorga a cada concepto.

Todos estos conceptos de la hoja de cotejo son los que se definieron en el planteamiento del problema. Esta hoja de cotejo es para completar la observación que permita levantar los datos de manera cuantitativa, este alienado a el enfoque de la investigación, y sistemático, que responda las preguntas alrededor del problema, previamente planteado, para esto en la Tabla 7, la hoja de cotejo sin completar para la observación se ha definido un total de 5 observaciones de campo para analizar los datos.

Tabla 7 Hoja de Cotejo, para observación en blanco

LISTA DE COTEJO PARA EVALUAR EL TRABAJO DE MEDICION DE AGUA						
Lugar	_____				Tema:	_____
Observador	_____					
Fecha	_____					
Instrucciones: Marque con una X los criterios que se aplican en la observación, agregue los comentarios de la observación necesario, deje en blanco aquellos campos no observados						
Criterio de Evaluación	Cumplimiento				Observaciones	
	Siempre	Casi Siempre	A veces	Nunca		
1. Faltante de agua						
-Falta de agua en esta comunidad diariamente						
-Observan fugas de agua en una área de 400 metros						
2. Medición de consumo de agua						
-Los medidores se encuentran obsoletos o dañados						
-Los valores y escala de medición son legibles						
-Se evidencia alguna toma de agua sin medidor						
-La persona que toma los datos dura mas de 5 min por medidor						
3. Exposición a riesgos						
-La medición se realiza en zonas de terreno complicado						
-Se requiere posiciones ergonómicas diferentes a la habitual						
-Se expone durante la jornada a condiciones climáticas perjudiciales						
RESULTADOS DE LA VALORACION						
Valores para cada Criterio	Asignar puntaje de	Valor Obtenido	Resultado de la observación:			
Siempre se cumple el criterio	5		35-45	El problema se evidencia siempre		
Casi siempre se cumple el criterio	4		20-35	El problema es ocasional		
A veces se cumple el criterio	3	Realizar la suma de cada valor por línea	0-20	No se evidencia problema		
Nunca se cumple el criterio	2					

Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024).

3.3.2 Entrevista

Para entender el funcionamiento, y la interacción de la persona encargada del lector de medidores, se realizará entrevistas a los responsables y ejecutores, se planea entrevistar al menos 4 personas relacionadas con la medición.

Se utilizará la escala de Likert, que consiste en preguntas con una escala de 5 o 7 puntos, conocida también como escala de satisfacción. Esta escala incluye un rango de opiniones que va de un extremo a otro en nivel de satisfacción, generalmente con una opción moderada o neutral.

La entrevista se plantea de manera sencilla, contiene 10 preguntas las cuales se pueden observar en la Tabla 8. Cada pregunta tiene el propósito de simplificar la investigación con puntos concretos, pero además se abre la oportunidad de extender las observaciones con un campo adicional para comentarios de opinión del entrevistado. Esto proporciona un componente cualitativo al formato de entrevista, pero manteniendo el resumen cuantitativo a través de la escala Likert.

Para cubrir y relacionar con el planteamiento del problema, las preguntas están divididas en tres áreas de interés:

1. Faltante de Agua.
2. Método de Medición.
3. Solución tecnológica.

Tabla 8, Formato entrevista en blanco.

Nombre
Cargo

Fecha
Antigüedad en el puesto

Preguntas Entrevista		Totalmente Deacuerdo	Deacuerdo	Neutro	Desacuerdo	Totalmente Desacuerdo	Otra Opción
Falta Agua	P #1	Considera que hay oportunidades en la medición de consumo de los consumidores					Si por esto esta implementando el sistema temaltica en la comunidad con presupuesto extraordinario
	P #2	En el cantón, es común el faltante de agua potable					Ahora es poco comun con todas la mejoras realizadas en los ultimos años
	P #3	Para el departamento de acueductos, es difícil detectar fugas de agua en la distribución					Es difícil actualmente pór eso se han implementado sistemas como denuncias en la pagina web
	P #4	Se podría reducir el faltante de agua con la mejora en la medición y control de fugas.					Totalmente deacuerdo
Método Medición	P #5	Ha visto afectaciones de salud por el método de medición actual a los operadores de medición.					Si por exposicion del sol
	P #6	Cree un sistema automático permita mejorar el control para acueductos de la distribución de agua.					
Solución Tecnológica	P #7	Autonomía energética y conectividad es suficiente para una opción automatizada.					Si podría ser suficiente
	P #8	Si tuviera una solución automatizada, le gustaría ver los datos tiempo constante, es decir con actualización cada					si seria ideal
	P #9	En una solución automatizada, preferiría que esta centralizado los datos en una terminal del acueducto?					
	P #10	Esta de acuerdo con que el usuario tenga acceso a los datos en tiempo real?					No, los datos son sensibles deben ser revisados primero

En una opción Automatizada ¿Que características le gustaría que tuviera?

En una opción Automatizada ¿Que limitaciones tendríamos para implementarlo en su distrito?

Observaciones del Entrevistador

Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024).

El formulario de entrevista se ha diseñado para cubrir las posibles hipótesis planteadas para el problema, con el objetivo de obtener un análisis cuantitativo de las entrevistas a realizar. En el planteamiento de la metodología, se ha considerado mínimo número de personas a entrevistar, definido por la información recibida por parte del municipio. En los siguientes capítulos se mostrarán los resultados de las entrevistas, pero a manera de planteamiento, este es el objetivo de personas a entrevistar:

- 4 operadores de medición.
- 1 ingeniero de acueductos.
- 1 supervisor de acueductos.

Finalmente, esta parte de la investigación busca confirmar o desechar las causas planteadas para el problema, utilizando las fuentes primarias que están en constante trabajo con los equipos, sistemas y redes de distribución actuales de agua.

3.4 VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Variables

En este apartado se hace referencia a las variables de la investigación, la variable son las características de la investigación que pueden sufrir cambios en su magnitud o forma durante la investigación cuantitativa. Según Rodrigo (Rodrigo, 2007) “Se entiende por variable todo rasgo, cualidad o característica cuya magnitud puede variar en individuos, grupos u objetos”.

Para esta investigación, las variables se plantean a través de la Tabla 9. Esta tabla define las variables de la investigación, su tipo, objetivo y definición, para su correcta interpretación de alteraciones durante la investigación

Tabla 9, Variables de la Investigación.

Objetivo	Variable	Definición
Identificar la necesidad real de automatización del sistema actual de medición de agua manual versus un sistema automatizado	Diseño de automatización	Identificar los elementos de un sistema automatizado que pueden eliminar o reducir el problema.
Hay que reconocer que un sistema automatizado debe tener un control electrónico confiable y acorde al problema planteado, según las condiciones dadas.	Necesidades a nivel de control	Elementos para considerar a nivel de control electrónico.
Definir las necesidades que plantea el problema para el sistema hidráulico que se adapte a las condiciones actuales del sistema	Necesidades a nivel hidráulico	Elementos para considerar para integración hidráulica.
Diseñar una interfaz de operación para el control central del acueducto y para el usuario final del servicio de agua potable.	Necesidades a nivel de interfaz	Desarrollo de las interfaces necesarias para analizar la información.
Definir las necesidades de almacenamiento de información recolectada por el medidor, frecuencia y datos necesarios para el posterior análisis.	Necesidad de almacenamiento de información	Crear una base de datos que cumpla las necesidades del sistema de medición.
Diseñar un prototipo con capacidad autónoma a nivel de energía y con conectividad autónoma para el funcionamiento en las condiciones físicas necesarias por el acueducto.	Confiabilidad del diseño Prototipo	Desarrollo del prototipo considerando las variables planteadas por el problema.
Realizar un análisis de costo-beneficio de un sistema automatizado en comparación con la toma manual de datos y las pérdidas actuales en el sistema de distribución de aguas.	Viabilidad del Proyecto	Generar estudio costo-beneficio de la factibilidad del proyecto.

Fuente: Elaboración del autor (*Fallas, 2024*)

3.4.2 Diseño

El diseño de investigación, también conocido como el plan de trabajo de la investigación, es un instrumento que orienta el rumbo de la investigación, aunque este previamente planteado de una manera, permite ser modificado según los resultados obtenidos. (Rodrigo, 2007).

Un buen diseño debe resumir de forma efectiva lo planteado en el Marco Teórico durante el desarrollo del Marco Metodológico, de manera que cada etapa se entrelace, y brinde una estructura base para resolver la investigación. Lo más importante es llegar al análisis de la información y conclusiones esperadas de la investigación.

Para entender el diseño de esta investigación, se debe observar el resumen planteado en la Tabla 10, donde se muestra la relación entre los objetivos planteados, las variables definidas y el método implementado.

A partir de este diseño, se pueden crear las conclusiones de la investigación.

Tabla 10, Diseño de la investigación.

Problema	Objetivo general	Objetivos específicos	Variable	Método de Investigación	Técnica y herramientas
¿Cómo convertir un sistema de medición de consumo de agua potable, ineficiente y falta de confiabilidad, en un sistema automatizado, autónomo energéticamente y amigable con el usuario, que optimice la confiabilidad al medir el consumo del agua, permita detectar fugas y monitorear datos para los usuarios del acueducto de Municipalidad de Paraíso?	Diseñar una solución automatizada, económicamente viable y autónoma en términos de energía.	Investigar soluciones tecnológicas de automatización.	Diseño de automatización	Exploratoria-	Entrevista
		Crear un modelo de control a través de un microcontrolador.	Necesidades a nivel de control	Exploratoria- Descriptiva	Observación- Entrevista
			Necesidades a nivel hidráulico	Exploratoria- Descriptiva	Observación- Entrevista
		Entregar un prototipo funcional.	Confiabilidad diseño Prototipo	Exploratoria- Descriptiva	Observación- Entrevista
			Necesidad de almacenamiento de información	Exploratoria- Descriptiva	Entrevista
			Necesidades a nivel de interfaz	Exploratoria- Descriptiva	Entrevista
		Evaluar las capacidades del nuevo sistema.	Confiabilidad diseño Prototipo	Descriptiva	Observación- Entrevista
		Investigación sobre las limitaciones actuales para la implementación.	Viabilidad del Proyecto	Descriptiva	Observación- Entrevista
		Realizar un estudio costo beneficio el prototipo	Viabilidad del Proyecto	Exploratoria	Entrevista
Crear manuales de funcionamiento del equipo	Diseño de automatización	Exploratoria- Descriptiva	Observación		

3.5 IMPLEMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La implementación de la investigación, en este caso, está alineada con la creación de un prototipo. La implementación se muestra durante la fase del diseño, según el cronograma mostrado en la figura 8, del capítulo I.

La investigación está estrechamente relacionada con el diseño necesario, por lo que se realizará un diseño basado en la información recolectada durante el enfoque cuantitativo. Este diseño debe estar listo antes de liberar el diseño final del prototipo, considerando tanto las variables cuantitativas como cualitativas observadas y obtenidas de las entrevistas.

En resumen, la investigación se dará en la siguiente secuencia de actividades mostradas en la Tabla 10:

- Inicio del Proyecto: presentación de los objetivos y planteamiento de la pregunta del problema.
- Diseño Detallado: Este proceso considera 4 semanas. Durante las primeras 2 semanas se realizarán las entrevistas y observaciones, y en las siguientes 2 semanas se trabajará en el diseño del prototipo.
- Creación de Documentación y Diseño de Programas: Durante esta fase se considerarán todas las conclusiones de la investigación, con el fin de cubrir las necesidades identificadas por el cliente y el consumidor.

CAPÍTULO IV
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Según lo expuesto en el capítulo I, referente a la Municipalidad de Paraíso, en el distrito central cuenta con un total de 21.507 habitantes. (Departamento Catastro , 2020), quienes consumen en promedio 3.817.260 litros de agua por día.

Adicionalmente, existen según el AyA 13.419 servicios de agua potable registrados (UTSAPS - AyA, 2021), al cruzar estos datos con los informes del estado de la nación de los últimos 15 años, se estima que podría haber un faltante de agua no registrada como consumida cerca al 50%, como se muestra en Figura 3, es decir, el porcentaje promedio de agua no facturada en los últimos 16 años según los reportes del AyA.

En la situación actual, también se deben considerar las investigaciones de la Defensoría del Habitante, relacionadas con denuncias de los residentes de Paraíso, quienes están preocupados por el crecimiento de los proyectos de vivienda a pesar de la falta de capacidad hídrica. (Araya, 2022).

Actualmente, el municipio está realizando esfuerzos para mejorar el uso y la distribución del agua, como por ejemplo la Municipalidad de Paraíso ha lanzado una herramienta tecnológica para reportar averías en el sistema del acueducto municipal, además está invirtiendo en el sistema de telemática para la distribución, que incluye tanques de agua, válvulas reguladoras y sistemas primarios de distribución. (Municipal., 2024)

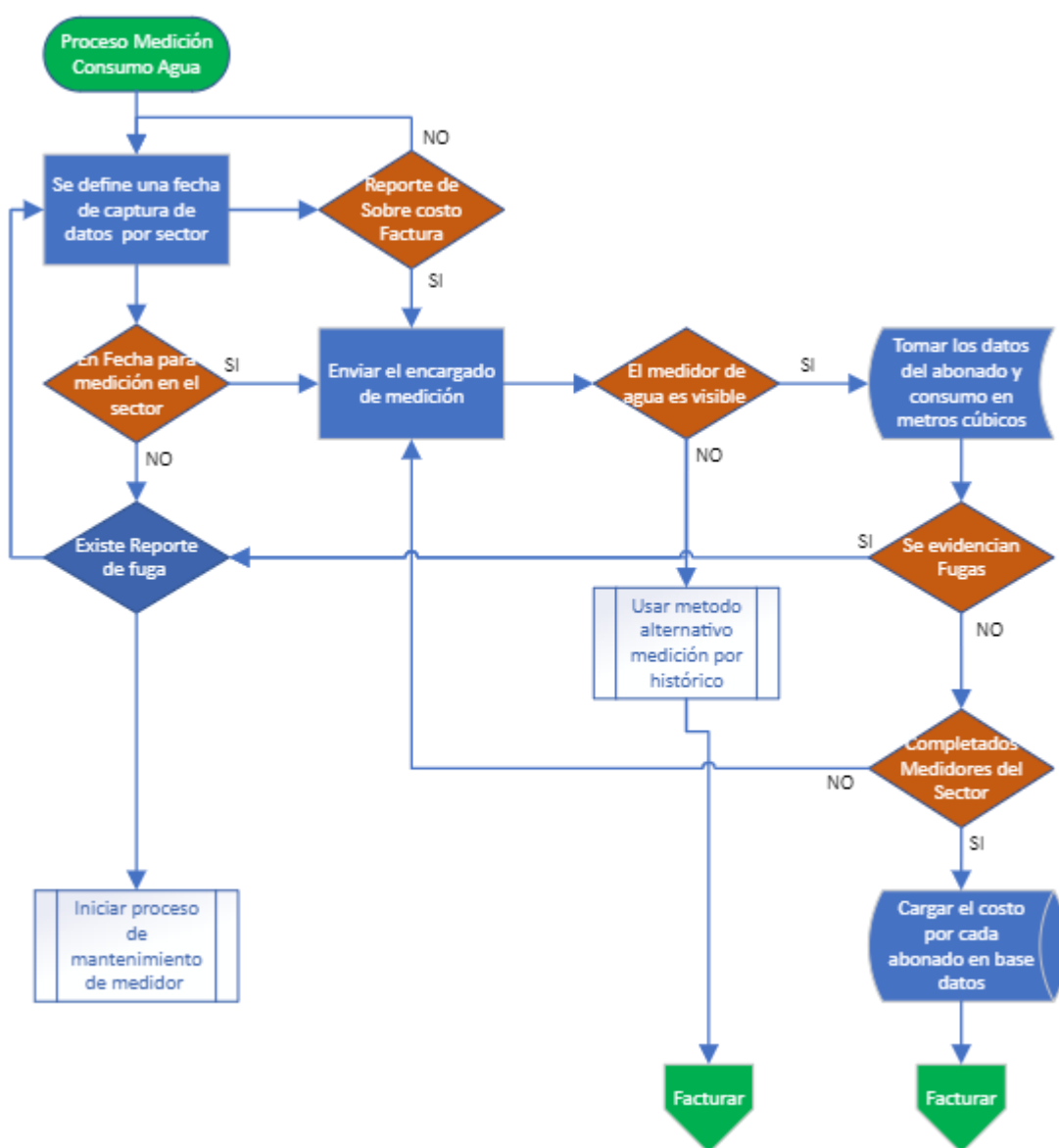
A pesar de estos esfuerzos, la medición del consumo de agua y la detección de averías, aún se realizan de manera manual, y principalmente a través de los reportes de los ciudadanos del distrito o de los mismos usuarios.

En la situación actual se identifican los siguientes puntos:

- La recolección de los consumos por cada abonado se realiza de manera manual, a través de una persona capacitada y autorizada para registrar los datos directos de un medidor físico mecánico.
- La toma de los datos de la medición y consumo de agua por abonado se efectúa una vez al mes, determinando la cantidad consumida mensualmente mediante el registro de la diferencia entre los metros cúbicos actuales y los del mes anterior.
- Los reportes de averías o fugas en los medidores se detectan de manera visual y son reportado por el abonado, consumidores, vecinos del sector o por la persona encargada de levantar las mediciones mensualmente, siendo posible también a través de la página de la municipalidad.
- Los sobreconsumos que afectan directamente al abonado solo pueden ser detectados actualmente cuando se emite la factura de consumo, en el mes posterior a la medición tomada.
- Los faltantes de agua relacionados con malas prácticas de consumo, fugas en las tuberías, o pérdidas por agua no facturada no pueden ser detectados a tiempo, lo provoca el desabastecimiento en la red de distribución, vaciado de tanques de almacenamiento y en consecuencia desperdicio del recurso hídrico.
- Existe un proyecto aprobado de telemática para los tanques, válvulas de presión y sistemas de distribución en el distrito central de Paraíso. (Municipal., 2024)

En la figura 16, se muestra en un diagrama de flujo, el proceso actual de medición de agua descrito en esta sección, que realiza el operador de medición y la municipalidad para tomar los datos, así como la forma en que se pueden detectar las fugas en el acueducto.

Figura 16 Proceso de medición, facturación y reporte de fugas de agua



Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

4.2 RECOLECCIÓN Y VALIDACIÓN DE DATOS

Con el apoyo del personal de la municipalidad se capturó la información necesaria para respaldar la investigación. Las personas que colaboran con la recolección de datos son:

- Víctor Meza Calderón, Ingeniero encargado Acueductos
- Oscar Fernández Rodríguez, Asistente Ingeniero Acueductos
- René Cruz Avalos, Lector de medidores
- Olman Leandro Fonseca, Lector de medidores
- Carlos Torres Barahona, Lector de medidores
- Jorge Moya Cortez, Lector de medidores

4.2.1 Recolección de datos

Se concertó una cita con el Ingeniero Víctor Meza, encargado de acueductos de la municipalidad, con el fin de definir los momentos más adecuados para aplicar la observación y la entrevista. Se concreto una fecha en el calendario del personal de recolección de datos de los medidores para acompañar al personal en sus tareas.

La observación se realizó con el acompañamiento de los funcionarios en varios sectores del distrito.

Para la entrevista se concordó una fecha y hora para aplicarla a la persona disponible del plantel de la Municipalidad, ubicado sobre la ruta nacional 10, carretera a Birrisito.

4.2.2 Instrumento para recolección de datos

En la recolección de datos se utilizaron los formatos planteados en el capítulo III, para la observación mediante la hoja de cotejo y la entrevista por medio el formato planteado con la escala de Likert.

En el anexo A se encuentran las copias de los documentos con las observaciones y entrevistas realizadas a cada uno de los participantes. El objetivo en esta sección es resumir esos datos y entregar los valores cuantitativos buscados de la investigación.

4.3 ANÁLISIS DE BRECHA

En la presente investigación, se obtuvieron los datos que se analizan a continuación, estos se han dividido en tres puntos de interés principales, con el fin de enfocar los resultados:

- Falta de agua debido a la ausencia de controles en la distribución.
- Métodos de medición de consumo de agua que afectan al consumidor final.
- Soluciones tecnológicas para la medición y control de fugas de agua.

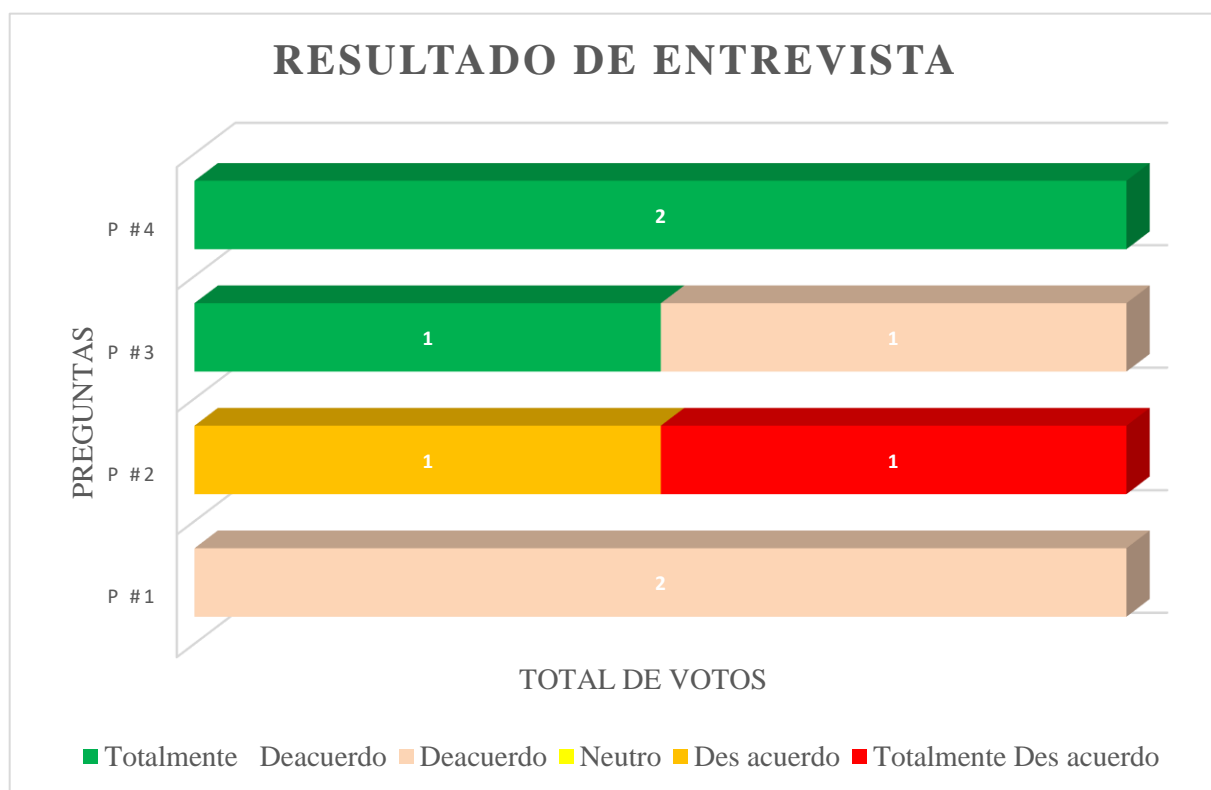
Mediante una combinación de los resultados de la encuesta y las observaciones, se puede realizar un análisis real sobre la situación actual del acueducto. A través del análisis de la propuesta del proyecto, se puede identificar la brecha del problema, que finalmente se debe reducir o eliminar con la solución propuesta.

4.3.1 Falta de Agua

La investigación revela que la situación actual con respecto al faltante de agua no es continua, debido a acciones oportunas tomadas en el acueducto. Los faltantes de agua en los distritos, como en los Llanos de San Lucía y Birrisito, han disminuido. Sin embargo, como se observa en los resultados de la entrevista y las observaciones, aún existen oportunidades de mejora. En el gráfico de la figura 17 se muestran los resultados relacionados con la falta de agua.

Figura 17, Resultados de entrevista sobre el faltante de agua.

Falta Agua	P #1	Considera que hay oportunidades en la medición de consumo de los consumidores
	P #2	En el cantón, es común el faltante de agua potable
	P #3	Para el departamento de acueductos, es difícil detectar fugas de agua en la distribución
	P #4	Se podría reducir el faltante de agua con la mejora en la medición y control de fugas.



Fuente: Elaboración del autor (*Fallas, 2024*)

Del cuadro resumen de las respuestas y sus comentarios, se obtienen los siguientes puntos importantes:

- El faltante de agua puede deberse en gran parte a la escasez del recurso durante la época seca, así como a la existencia de fugas no detectadas en la distribución.

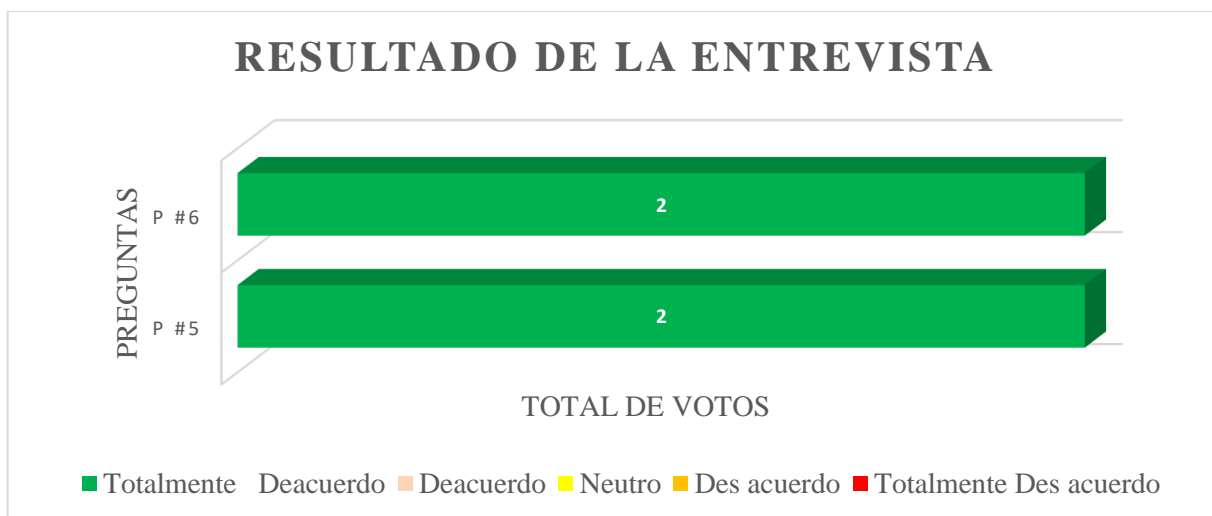
- Una opción para mitigar el faltante de agua es implementar el sistema telemático en toda la comunidad como primera etapa, y en una segunda etapa el uso de medidores inteligentes.
- Las fugas de agua están relacionadas desgastes propios del acueducto, así como fallas debidas a vehículos o sobrepesos en los lugares donde se encuentran las tuberías del acueducto.
- Existe un consenso total en que un sistema automatizado ayudaría a mejorar la distribución y a reducir el faltante de agua.

4.3.2 Del método de medición actual.

Como segundo punto de interés, se analizó el método actual de medición, para ello se dedicó una sección a entender la percepción del personal de acueductos sobre los medidores actuales, así como la observación del investigador mediante la hoja de cotejo, mediante el objetivo de entender la interacción diaria de este sistema y método, e identificar sus oportunidades. En la figura 18, se muestra el grafico con los resultados obtenidos para la segunda parte de la investigación.

Figura 18 Resultados de Entrevista método actual de medición.

Método Medición	P #5	Ha visto afectaciones de salud por el método de medición actual a los operadores de medición.
	P #6	Cree un sistema automático permita mejorar el control para acueductos de la distribución de agua.



Fuente: Elaboración del autor (*Fallas, 2024*)

Del análisis y resultados se obtiene que el sistema de medición presenta las siguientes oportunidades:

- Podría mejorar la captación de información de los medidores.
- Se podría cubrir el cantón completo sin necesidad de sobrecargar el recurso humano disponible.

4.3.3 De las soluciones tecnológicas.

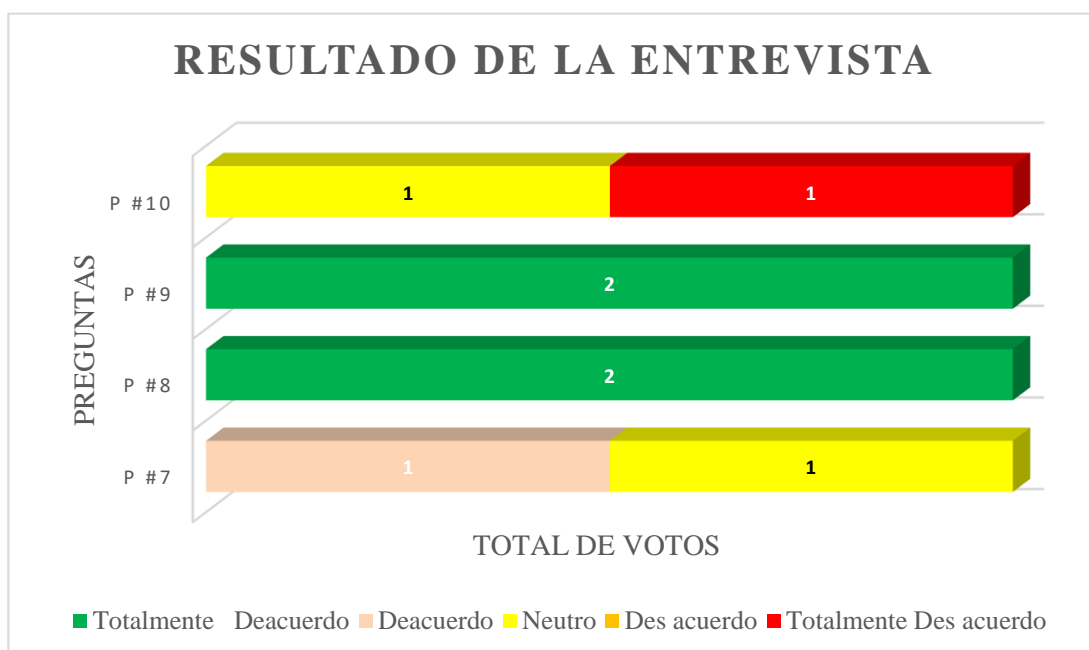
Como parte del análisis de brecha, es fundamental entender la condición actual en comparación con las características tecnológicas que debería tener una solución, considerando el punto de vista de los usuarios, supervisores y encargados de mantenimiento de los acueductos.

El propósito de esta sección fue brindar la oportunidad a los encargados de los acueductos de compartir su conocimiento y experiencia, con el fin de crear una solución, que, aplicando los instrumentos de ingeniería disponibles, permita desarrollar la solución tecnológica correcta y hecha a la medida del cliente del acueducto.

En la figura 19 se presentan los resultados obtenidos respecto al tema de la tecnología según opinión de los usuarios.

Figura 19, Resultados de Entrevista de las necesidades tecnológicas de la solución.

Solución Tecnológica	P #7	Autonomía energética y conectividad es suficiente para una opción automatizada.
	P #8	Si tuviera una solución automatizada, ¿le gustaría ver los datos tiempo constante, es decir con actualización cada hora?
	P #9	En una solución automatizada, ¿preferiría que esta centralizado los datos en una terminal del acueducto?
	P #10	Está de acuerdo con que, ¿el usuario tenga acceso a los datos en tiempo real?



Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

De las entrevistas se obtienen puntos aplicables al diseño del prototipo. A continuación, se presenta el análisis de las respuestas obtenidas:

- Es necesario que el prototipo tenga autonomía energética, debido a que estará en uso las 24 horas del día.
- La solución debe contar con una llave de paso de bronce, similar a los medidores actuales.

- Un usuario no debería tener acceso a la información en tiempo real, debido a que es información sensible, que debe ser revisada por el acueducto para asegurar que las lecturas sean correctas.

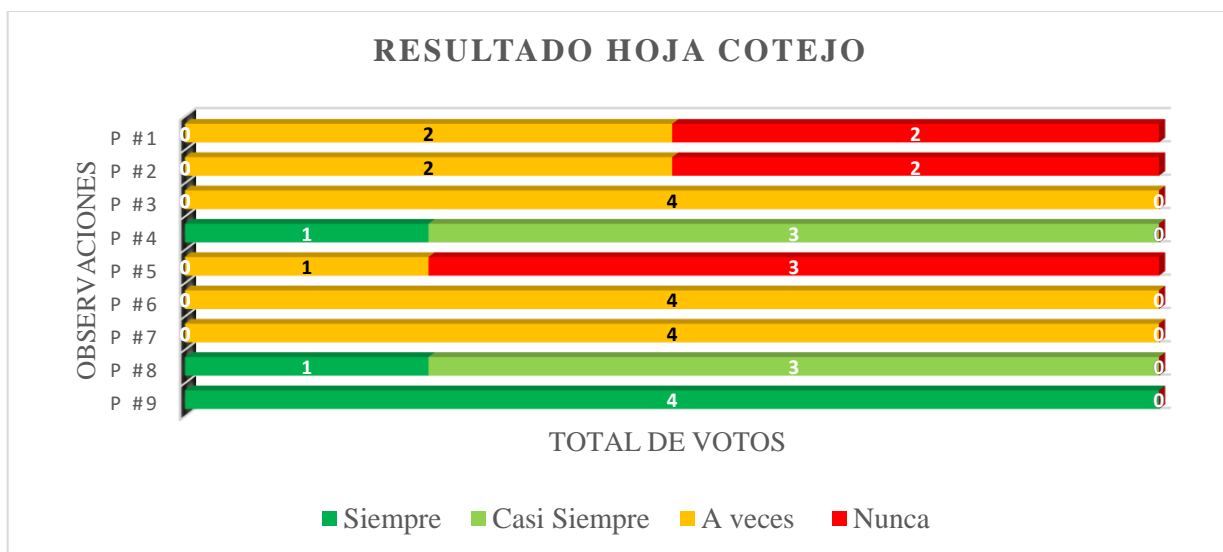
4.4 ANÁLISIS DE OBSERVACIONES EN CONDICIONES ACTUALES

Durante la implementación de las observaciones, a través de las hojas de cotejo se obtuvieron resultados que se agrupan y muestran en los siguientes cuadros, a cada una de las observaciones se le aplica el análisis respectivo.

En la figura 20, se presentan los valores resumidos de todas las hojas de cotejo realizadas.

Figura 20, Gráficos con el resultado de las hojas de cotejo

Criterio de Evaluación	
1. Faltante de agua	
Pregunta 1	-Falta de agua en esta comunidad diariamente
Pregunta 2	-Observan fugas de agua en un área de 400 metros
2. Medición de consumo de agua	
Pregunta 3	-Los medidores se encuentran obsoletos o dañados
Pregunta 4	-Los valores y escala de medición son legibles
Pregunta 5	-Se evidencia alguna toma de agua sin medidor
Pregunta 6	-La persona que toma los datos dura más de 5 min por medidor
3. Exposición a riesgos	
Pregunta 7	-La medición se realiza en zonas de terreno complicado
Pregunta 8	-Se requiere posiciones ergonómicas diferentes a la habitual
Pregunta 9	-Se expone durante la jornada a condiciones climáticas perjudiciales



Fuente: Elaboración del autor (*Fallas, 2024*)

Las hojas de cotejo y su respectiva información individual están en el anexo A. De las cuatro hojas de cotejo, se obtiene, según la escala definida en la Tabla 7 del capítulo III, que el resultado es “**El Problema es Ocasional**”, con un valor promedio de resultado 29.75 puntos, evaluados en la escala planteada en la Figura 21.

Figura 21. Escala de Observación mediante Hoja de Cotejo.

Resultado de la observación:	
35-45	El problema se evidencia siempre
20-35	El problema es ocasional
0-20	No se evidencia problema

Fuente: Elaboración del autor (*Fallas, 2024*)

De estas observaciones y conversaciones con los lectores de medidores de la comunidad se obtienen datos interesantes que aportan información de respaldo a la investigación:

- Durante la investigación se observó que los medidores presentan mucha contaminación por tierra, y acumulación de pasto y basura sobre los indicadores analógicos. El lector debe limpiarlos antes de tomar las medidas.
- El tiempo que le toma a los operadores para tomar las mediciones es menor a 5 minutos si el clima es bueno, tienen como estándar una toma diaria de al menos 140 medidores,

llegando a un máximo de 200 en días de buen clima, y un mínimo de 50 en días donde los factores climáticos no lo permiten.

- A simple vista, no es fácil detectar las fugas que podrían presentarse en los ductos dentro de las residencias, las cuales son responsabilidad directa de los clientes.
- Existe un problema con el método actual de medición, ya que depende del clima, los tiempos de traslado entre abonados y el estado de contaminación de los medidores.

En resumen, la investigación concluye que una solución que aporte confianza y una mejora significativa al sistema de mediciones del acueducto debería ser capaz de soportar los factores ambientales, considerados el problema más recurrente en la medición.

Asimismo, el ingeniero Meza indica, que obtener la información centralizada sería a lo ideal, pero sin comunicarla directamente al cliente antes de ser revisada, para evitar el aumento de reclamos por mediciones incorrectas o variaciones debidas a problemas propios de la red de distribución

La información obtenida de las entrevistas y observaciones evidencia un problema concreto con:

- Métodos de medición manual de agua
- Pérdidas de agua que no se detectan a tiempo.
- La oportunidad de tener un sistema que brinde información adicional al administrador del acueducto y al usuario.
- La posibilidad de bajar costos económicos del proceso, reducir la afectación por lesiones físicas al personal.
- Mejorar la calidad de la información brindada al consumidor.

CAPÍTULO V
DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

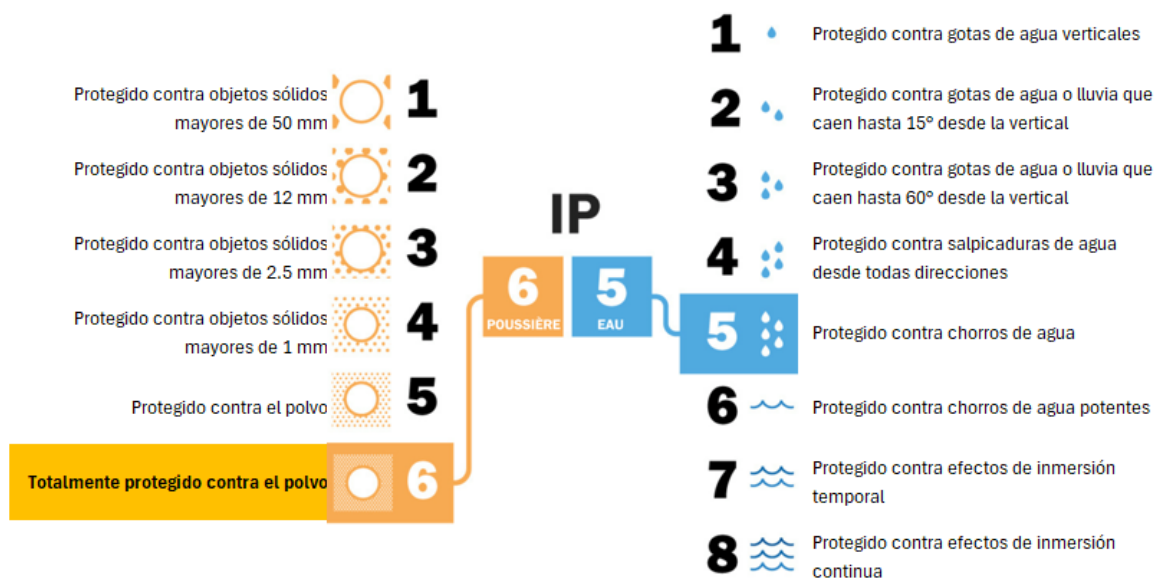
5.1 ASPECTOS DE DISEÑO

Para el desarrollo de este prototipo, se han considerado diversas presentadas en el capítulo II, así como los requerimientos establecidos por la municipalidad en los capítulos III y IV. Esta información constituye la base para el diseño del sistema de medición que se implementará. La guía de construcción se define de la siguiente manera, alineada a los objetivos:

- El sistema debe ser energéticamente autónomo, sin necesidad de equipos externos para proveer su energía operativa.
- Las fuentes, baterías, controladores, paneles solares, sensores o cualquier otro sistema de control eléctrico-electrónico deben permitir su montaje superficial, siguiendo los estándares de IEEE para diseño, montaje y conexiones de componentes eléctricos.
- El controlador seleccionado debe tener la capacidad de almacenar la información y transmitirla externamente, permitiendo mostrar los datos a los usuarios.
- El sistema debe tener la capacidad de comunicarse externamente sin necesidad de equipos complejos adicionales, para extraer los datos lo más cercano posible al tiempo real de operación.
- Se ha propuesto como parte del diseño la capacidad de monitorear los valores obtenidos de la medición a través de un dashboard.
- El equipo debe estar en un encapsulado o panel que cumpla con el grado de protección necesario para exteriores, como se muestra en la Figura 20. En este caso, se recomienda un grado de protección mayor a IP 65, que se refiere a:
 - Nivel 6, primer dígito, el polvo no entra en ninguna circunstancia.

- Nivel 5, segundo dígito: no debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 80-100 kN/m² durante un tiempo no menor a 5 minutos.

Figura 22, Grado de protección IP65 y prueba



Fuente: Elaboración del autor (*Fallas, 2024*)

Basado en el planteamiento de los requisitos de diseño, se procedió a seleccionar los equipos que cumplen con cada uno de los puntos planteados anteriormente.

5.2 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

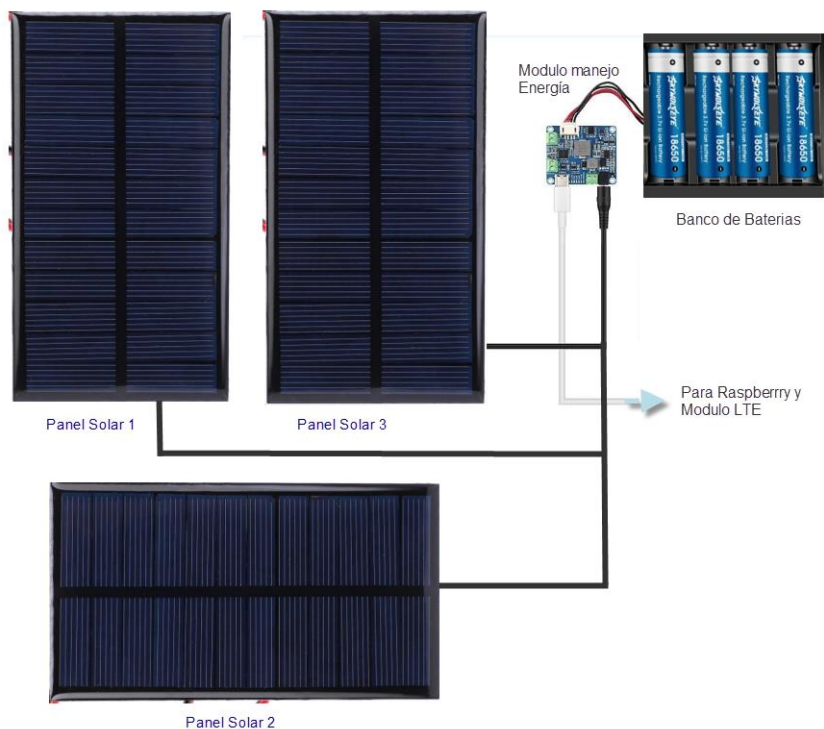
Para la construcción del prototipo se seleccionaron los siguientes componentes que ofrecen las mejores condiciones para la necesidad planteada:

5.2.1 Sistema autónomo de energía del medidor

Se implementó un sistema autónomo de energía mediante componentes electrónicos, conformado por: paneles solares, un regulador de energía, un banco de baterías y una salida de alimentación a 5 volts para la alimentación del dispositivo de control del prototipo.

En la Figura 23, se observa un diagrama general con la conexión del módulo de energía utilizado para este prototipo, que incluye: tres paneles solares marca Eujgoov, modelo DIY de 6 volts, un controlador de paneles y administrador de energía marca Waveshare de 5 Voltios y 3 Amperios, y un banco de cuatro baterías de iones de litio de 3.7 voltios, modelo 18650, marca Tokeyla.

Figura 23, Diagrama de módulo de energía de Prototipo.



Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

Este módulo de gestión de energía solar está diseñado para paneles solares de 6V ~ 24V, puede cargar la batería de litio recargable de 3,7 V utilizando un panel solar y proporciona una salida regulada de 5 Voltios y 3 Amperios. El módulo cuenta con función MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia) y circuitos de protección múltiple, lo que le permite su funcionamiento con alta eficiencia, estabilidad y seguridad. Es adecuado para proyectos de energía solar, IoT de baja potencia y otros proyectos de protección del medio ambiente.

Mediante pruebas de carga y descarga se validó el sistema autónomo de energía para los componentes requeridos, según la Tabla 11, se considera los valores de consumo energético estimado requerido versus la capacidad energética instalada en el medidor, con sus paneles y baterías.

Cada uno de los paneles solares instalados proporcionan un suministro continuo de hasta 6 voltios y 1 watt, lo que equivale a 0,17 amperios por cada panel.

$$I_{DC} = \frac{\text{Watts}}{\text{Voltios}_{DC}} = \frac{1 \text{ w}}{6 \text{ v}} = 0.17 \text{ Amp}$$

El cálculo del consumo estimado se basa en el consumo del Raspberry Pi Zero y el módulo LTE. Según los manuales, cada uno de los módulos consume lo siguiente:

- El consumo de energía del Raspberry Pi Zero es de 5 voltios y 120 mA, como se muestra en la figura 24 del manual. (Raspberry Pi Ltd, 2024)
- El módulo de comunicación LTE, HAT SIM7600X, tiene un consumo de 5 voltios y 150 mA, según el manual. (Waveshare Support Team, 2024)

Figura 24, Consumo de Raspberry Pi Zero

Pi Model	Pi State	Power Consumption
Zero 2 W	HDMI off, LED off	100 mA (0.6 W)
Zero 2 W	HDMI off, LEDs off, onboard WiFi	120 mA (0.7 W)

Fuente: Manual del producto (*Raspberry Pi Ltd, 2024*)

En relación con el almacenamiento de energía, el sistema contempla un banco de 4 baterías modelo 18650 de iones de Litio, de 3.7 voltios, con una capacidad estándar de 2100 mAh a 2700 mAh por cada una de las baterías, como se muestra en la Figura 25. Debido al alto costo

del rendimiento de los iones de litio para baterías recargables, las baterías de litio 18650 son las más populares por su relación de costo y beneficio.

Figura 25, Capacidad de almacenamiento de las baterías 18650

Capacity (mAh)	Description
1500 - 2000 mAh	Low capacity 18650 batteries used in flashlights, remote controls, etc
2100 - 2600 mAh	Standard capacity 18650 batteries used in vape mods, toys, etc
2700 - 3200 mAh	High capacity 18650 batteries used in small power tools, trimmers, etc
3300 - 3500 mAh	Ultra-high capacity 18650 batteries, mobile phones, electronics cars, etc

Fuente: Tomado de sitio web de baterías (CM Batteries, 2024)

En resumen, en el cuadro de la Tabla 11 se presentan los valores considerados para las baterías y paneles colocados.

Tabla 11, Resumen de consumo de energía de sistema de medición de flujo

Detalle	Valor	Unidades
Fuente de Energía		
Paneles Voltaje	5	Voltios
Paneles Corriente	170	mA
Cantidad de Paneles	3	Paneles
Capacidad por Hora de generación	510	mA
Almacenamiento de Energía		
Capacidad de Baterías 18650	2600	mAh
Cantidad de Baterías 18650	4	Unidades
Total, de Capacidad de Almacenamiento	10400	mAh
Consumo de energía del sistema		
Raspberry PI Zero 2W	120	mA
Modulo HAT SIM7600X	150	mA
Tiempo funcionamiento	24	Horas
Consumo total	6480	mA
Consumo por Hora	270	mA
Capacidad Generación por Hora	510	mA

Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

5.2.2 Sistema de comunicación externa LTE

Se implementa un módulo de comunicación inalámbrica LTE, que permite tener la conexión necesaria sin depender de redes cercanas o de las redes de los clientes.

El sistema LTE (acrónimo de Long Term Evolution), es un estándar para comunicaciones inalámbricas de transmisión de datos de alta velocidad para teléfonos móviles y terminales de datos. (4G). (GSMA, 2014)

En la Figura 26, se presenta una comparación de la evolución y capacidades entre las tecnologías inalámbricas celulares disponibles en el mercado. El sistema 4G LTE está diseñado para velocidades de datos muy altas, más altas que la mayoría de los servicios domésticos fijos de banda ancha. Se calcula que la cobertura actual de LTE es 60% a nivel global lo cual asegura su disponibilidad en la mayoría de las regiones. Según el Instituto Costarricense de Telecomunicaciones, conocido por sus siglas como ICE, el 4G LTE en Costa Rica cubre 11780 comunidades que equivale al 98.1% de las registradas a nivel nacional. (Grupo ICE, 2021)

Figura 26 Comparativa evolución de tecnologías Inalámbricas.



Fuente: Oficina Central GSMA (GSMA, 2014)

El módulo LTE seleccionado, es de la marca Waveshare, modelo 4G/3G/2G/GSM/GPRS/GNSS HAT compatible con módulo para Raspberry Pi/4B/3B+3B/2B/Zero/Zero W/Zero WH/Jetson Nano, basado en SIM7600G-H. Este módulo soporta LTE CAT4 con velocidades de transferencia de datos de enlace descendente de hasta 150 Mbps. Sus principales características son:

- Conectividad con Raspberry
- Bajo consumo de energía
- Comunicación múltiple disponible, incluyendo LTE, Bluetooth 3.0 y GSM
- Batería de respaldo para funcionamiento
- Compatibilidad para SIM card 1.8V/3V.

En la Figura 27 se muestra una imagen de la tarjeta 4G LTE utilizado para la comunicación del dispositivo creado.

Figura 27. Modulo LTE marca WaveShare



Fuente: Manual del Fabricante. (Waveshare Support Team, 2024)

5.2.3 Controlador central de medidor

Este controlador se encarga de tomar los datos del sensor de flujo, convertirlos en valores reales utilizables y exportarlos fuera del sistema para su análisis, en este caso, por parte de la municipalidad.

En la Tabla 12, se compara las opciones que por dimensiones y capacidades podrían funcionar para la solución tecnológica.

Tabla 12, Comparativa de controladores.

	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5
Marca	Raspberry	Arduino	TSMC	Raspberry	Allen Bradley
Modelo	PI 4	UNO	ESP 32	PI Zero 2W	Micro Logix 1400
Costo	\$36.25	\$29.30	\$19	\$18	\$980
Características	1 GB RAM Wireless Bluetooth	32 KB	512 KB RAM Wireless Bluetooth	512 MB RAM Wireless Bluetooth	384 KB RAM Ethernet RS-232
Lenguaje programación	Python	C++	C++ Micro Python	Python	Studio 5000 Ladder / Text
Consumo Energía	5 VDC / 3A	5 VDC / 1A	5 VDC / 0.5A	5 VDC / 2A	24 VDC / 15A

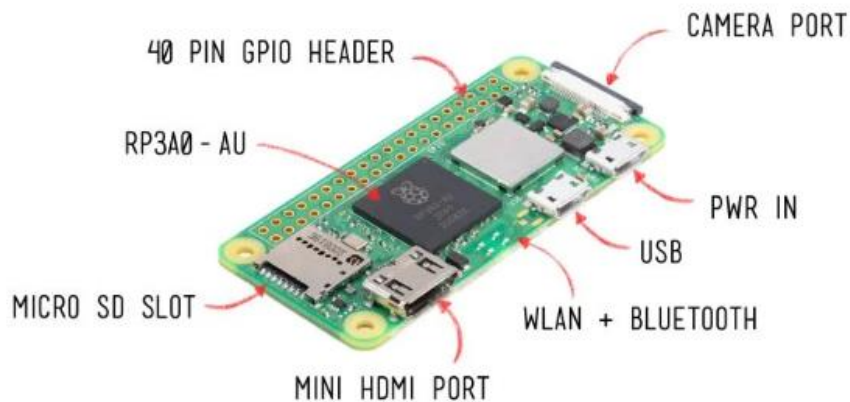
Fuente: Elaboración del autor (*Fallas, 2024*)

De la comparativa anterior se determinan cual es la mejor opción para el proyecto, en verde se han marcado las características que cumplen con las necesidades del proyecto, de ese analisis se obtiene que la opción 4 tienen más características compatibles.

Se seleccionó el Raspberry PI Zero 2W, cuya tarjeta física se muestra en la Figura 28. Este minicomputador tiene la capacidad de procesar información de manera similar a computadores

más grandes, no en términos de capacidad, sino en cuanto a las capacidades de software que ofrece, comparables a las de otros computadores de mayor tamaño de la familia Raspberry.

Figura 28 Características de Raspberry PI Zero 2W



Fuente: Página Oficial del Fabricante (*The Raspberry Pi Foundation, 2024*)

Este minicomputador presenta las siguientes ventajas, lo que justifica su uso para proyectos de pequeño tamaño que requieran conectividad disponible:

- Capacidades de comunicaciones externas por red inalámbrica, o bluetooth.
- Capacidad de manejar el sistema operativo de Raspbian
- Bajo Consumo de energía.
- Capacidad de entradas/salidas de propósito general (GPIO por sus siglas en inglés).
- Uso común en aplicaciones internet de las cosas o en casas inteligentes, domótica.

Mediante el uso del lenguaje de programación Python en el microcomputador, se puede diseñar el programa necesario para capturar los datos y enviarlos externamente a una interfaz.

La solución tecnológica utilizada para el prototipo es el controlador Raspberry PI Zero, un controlador de bajo costo y con capacidades adecuadas para aplicaciones pequeñas. Según el manual del fabricante su vida útil mínima es de seis meses, y siguiendo las recomendaciones de instalación, protecciones eléctricas y uso, se puede extender indefinidamente. Los principales

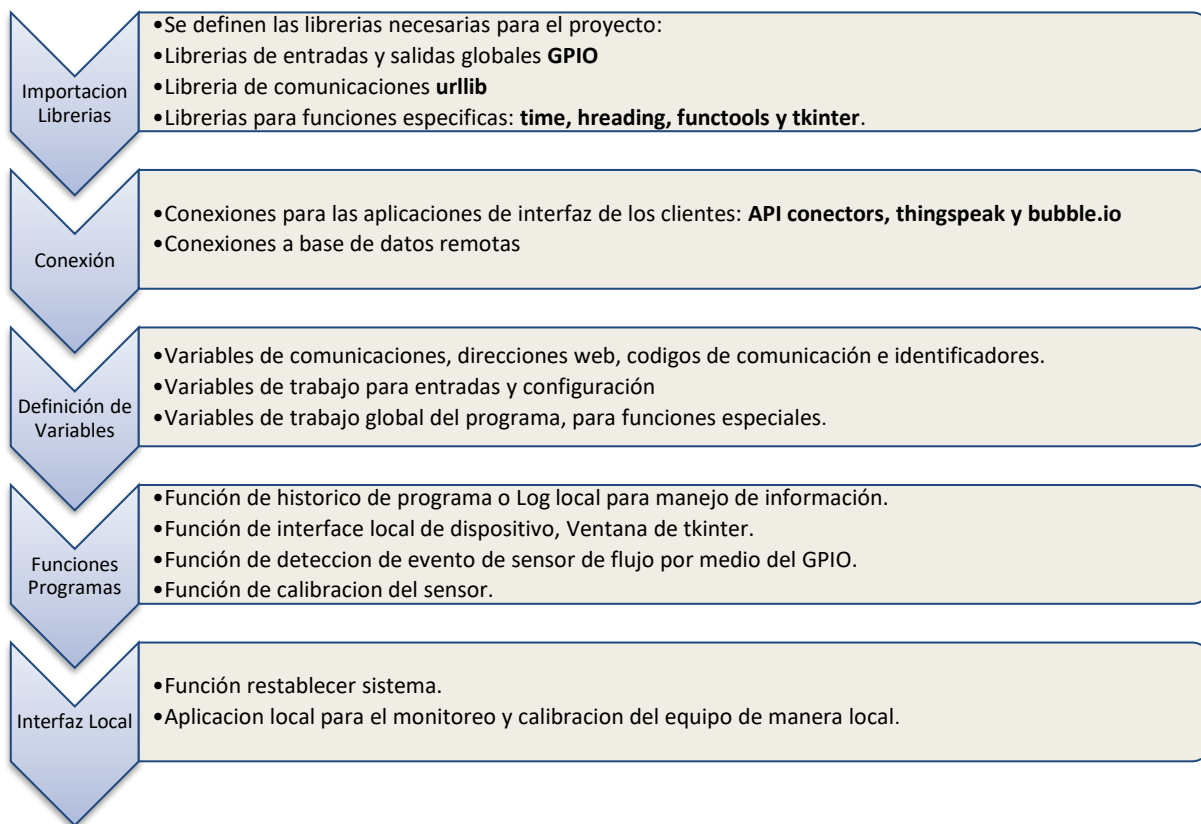
factores de daño o envejecimiento de los componentes electrónicos de la placa son la temperatura y el suministro de energía. Para mitigar estos factores, se instaló un regulador de voltaje inteligente que controla los paneles, las baterías y el suministro de voltaje, manteniendo el voltaje a 5.1 voltios en todas las condiciones

5.2.4 Diseño de código de programa de Python

Para la programación del controlador, se utilizó la conexión remota a través de la conexión remota de computador de red virtual o por sus siglas en inglés VNC, esta conexión se realiza directamente al nombre del host porque su IP podría cambiar, el nombre del host es PI Zero, se utiliza el “usuario” y la clave “pi”

Para el prototipo, se diseñó un programa que cumple con cada una de las necesidades planteadas en los objetivos del proyecto. Para una mejor comprensión, el código del programa se dividió en secciones de programación. Cada sección se explica en la Figura 29, como diagrama de flujo, para comprender la concepción del programa.

Figura 29, Diagrama de flujo de programa de prototipo.



Fuente: Elaboración del autor (*Fallas, 2024*)

En el Anexo B de este documento se puede encontrar en detalle el programa cargado en el lenguaje Python al controlador del Raspberry PI Zero W, que se utilizó para el prototipo.

Librerías Especiales:

Para la programación del microcontrolador, se utilizó el lenguaje de programación Python, este lenguaje provee muchas ventajas de programación en comparación a otros existentes en el mercado. Permite hacer códigos simples y versátiles, es portable por lo que se puede ejecutar en varias plataformas, y la más importante posee acceso a librerías muy potentes, permite usar el lenguaje para funciones muy específicas.

En la siguiente Tabla 13, se presentan las librerías utilizadas y su relevancia en el desarrollo del código del programa. Se proporciona una descripción detallada de la función y el alcance de cada biblioteca en el contexto del proyecto.

Tabla 13, Librerías de Python del proyecto.

Librería	Función	Alcance en el proyecto
Rpi.GPIO	Es un módulo de Python que permite controlar los pines GPIO (General Purpose Input/Output)	Se utiliza para la conexión y configuración del sensor de flujo por medio de los pines donde se crea un evento y se mide la frecuencia de entrada.
Time	Proporciona varias funciones útiles para trabajar con el tiempo y realizar operaciones relacionada	Se programo para poder enviar los mensajes en horas definidas
urllib	Se utiliza para manejar URLs y realizar operaciones de red	Automatización de tareas en la web, se debe enviar la información al API, para poder mostrarlo en la interfaz.
threading	Permite crear y manejar hilos (threads) de manera sencilla, facilitando la programación concurrente	Para aprovechar al máximo las capacidades de procesamiento del programa generando un lazo continuo de ejecución.
tkinter	Es la interfaz estándar de Python, que permite crear aplicaciones de escritorio con interfaces gráficas de usuario de manera sencilla	Se utilizo para crear la interfaz de calibración en el controlador para tareas de mantenimiento.
os	Proporciona una forma versátil de interactuar con el sistema operativo	Esta biblioteca es fundamental para realizar tareas que requieren interacción con el sistema operativo, como el caso del log con el registro de eventos.
telepot	Diseñado para facilitar el desarrollo de bots para la API de Telegram	Se usa para crear un evento en telegarm con un mensaje envía condiciones importantes del controlador.

mysql	Es un controlador que permite a los programas de Python interactuar con bases de datos MySQL	Para cargar los datos a la base de datos local, con los valores de cada mes, y con los valores en caso se reinicie.
PySerial	Permite la comunicación con dispositivos a través de puertos serie, como los puertos RS-232.	Cuando es requerido comunicar serial el módulo LTE, que no funciona por medio del USB

Fuente: Elaboración del autor (*Fallas, 2024*)

5.2.5 Diseño de interfaz de uso del cliente

Se buscó una interfaz de servicio web que permitiera el uso tanto por parte de los usuarios como del personal de la municipalidad. Por esta razón, se seleccionó Bubble. La plataforma Bubble es una aplicación en línea que permite la creación aplicaciones web sin necesidad de programación de un código puro sino por medio de herramientas preconstruidas en la plataforma; que facilita el diseño, desarrollo y creación de aplicaciones web funcionales.

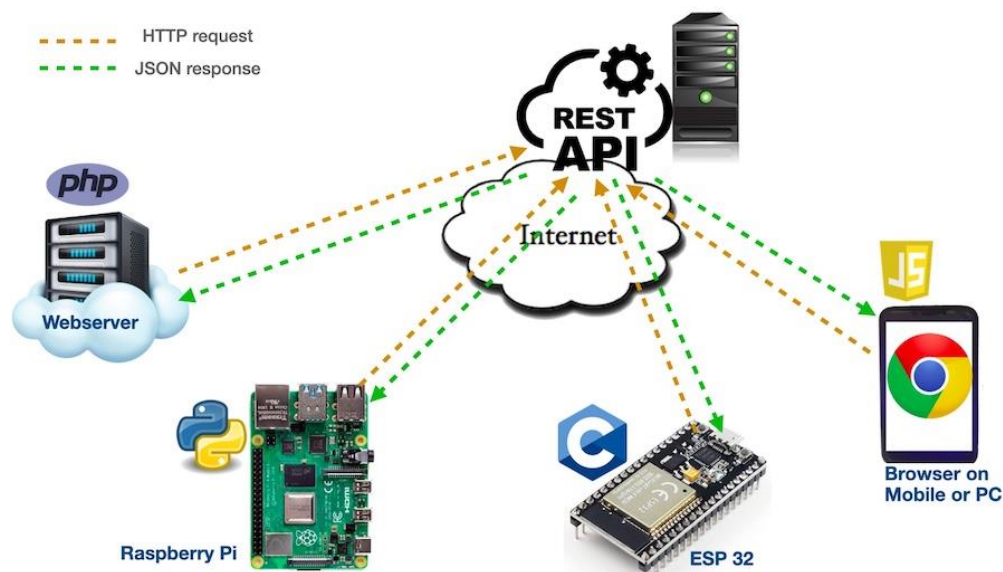
Es posible crear una interfaz remota de monitoreo y servicio al cliente, para los usuarios del prototipo de medición de flujo de agua. Esta interfaz permite establecer conexiones externas mediante conectores API, bases de datos en línea para cada uno de los usuarios, y finalmente, una interfaz que permite obtener y capturar eso datos para su análisis interno en el municipio o para su uso por parte del cliente consumidor final.

Conexión API a la información:

Mediante conectores de interfaz de programación de aplicaciones o API por sus siglas en inglés. (Application Programing Interface) se logra la conexión del prototipo y el servidor web. En el ámbito de los servicios e interfaces en línea, esta capacidad permite que dos aplicaciones se conecten de manera integral, facilitando un amplio intercambio de información. En la Figura 30 se muestra un ejemplo del uso de API en un entorno con Raspberry Pi, donde

se puede obtener datos de un controlador ESP32 o Raspberry Pi, almacenarlos en un servidor web y, si se dispone de una interfaz gráfica como la de Bubble, mostrar la información requerida.

Figura 30, Raspberry con conexión API



Fuente: Conexión API con Raspberry ((helloworld.co.in, 2022)

Estos conectores API permite extraer la información almacenada para el medidor de flujo de agua del prototipo, de manera que se pueda almacenar esta información durante el tiempo necesario y hacerla visible tanto para el cliente como para los funcionarios del acueducto.

Base de datos con los posibles clientes o usuarios del servicio:

En el prototipo se han utilizado dos bases de datos, una es MySQL, disponible para Python en el Raspberry, dentro del código del programa. Esta base de datos tiene la función de guardar los valores mensuales de consumo en caso de pérdida de información y también la capacidad de almacenar el último dato en caso de pérdida total de energía de las baterías, con

el objetivo de restablecer en el valor correcto cuando se recupere la energía eléctrica. La segunda base de datos es por medio de Bubble.io, la cual permite individualizar a los clientes por nombre.

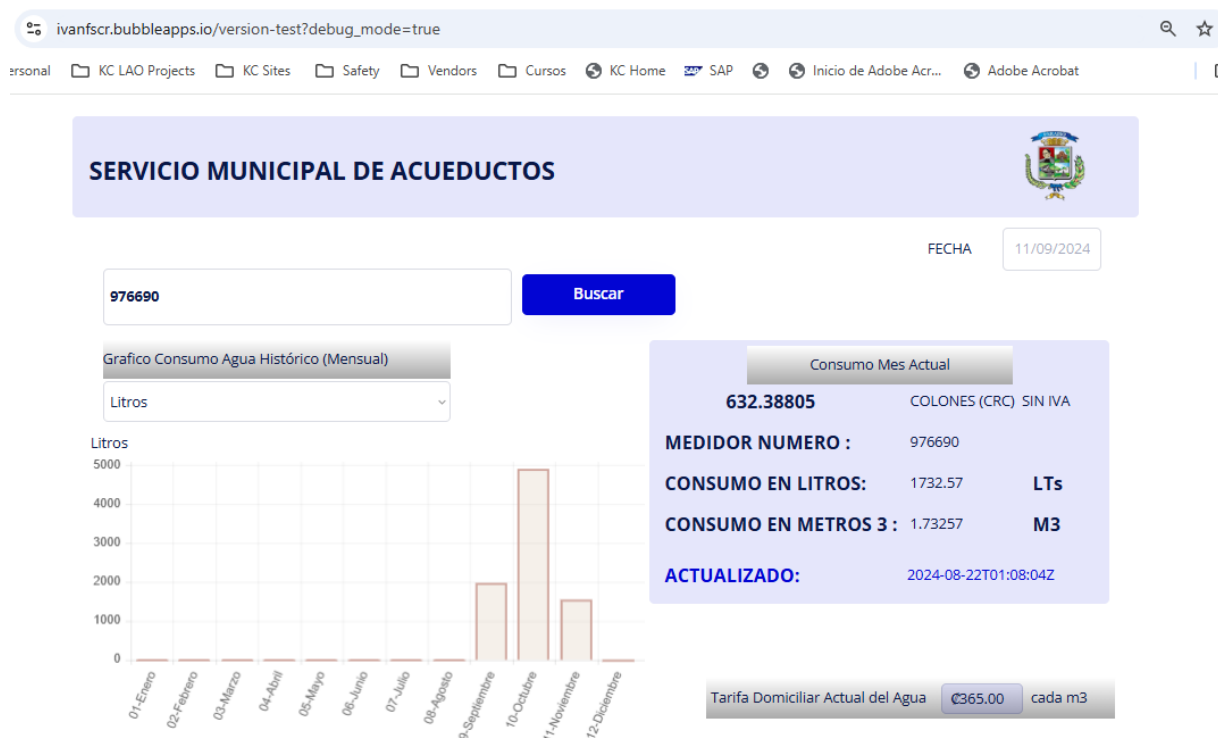
De esta manera al ingresar al sitio web de servicio es posible mostrar correctamente la información del cliente que se consulta..

Interfaz gráfica en sitio Web:

Se genero un diseño gráfico que permita obtener la información primero del cliente, segundo del dispositivo de medición del usuario, en la Figura 31, se observa cómo se vería el consumidor la pantalla con los datos de su medidor.

Se construyó una interfaz web para el usuario interno y externo del servicio de medición de agua, por medio de una comunicación tipo API, se suben los datos hasta una web con capacidades de almacenamiento en la nube. Esta solución da la posibilidad de mostrar la información de manera segura y grafica a la persona interesada.

Figura 31 Interfaz gráfica del usuario



Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

5.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Durante las pruebas de funcionamiento se obtienen datos que se analizarán a continuación del prototipo mostrado en la figura 32, relacionados con la confiabilidad de la solución, la precisión de los datos y la vida útil de los componentes durante el periodo de prueba.

Figura 32, Prototipo final.



Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

Para la calibración del dispositivo, se realizó un experimento controlado, como se muestra en la Figura 33. En esta figura se observa el medidor conectado al tanque de agua y a su salida por medio de una llave de flujo que controla la entrega de agua al elemento de medición de 1 litro.

Figura 33, Sistema de calibración del medidor



Fuente: Elaboración del autor (*Fallas, 2024*)

Se realizaron cinco mediciones para determinar el valor de conversión correcto para obtener un litro exacto, estos valores se muestran en la Tabla 14.

Tomando como referencia la fórmula del manual de fabricante, que se encuentra en el Anexo F, se presenta a continuación el factor conversión recomendado del manual:

$$\text{Litro/min} = 7 \times \text{Frecuencia (Hz)}$$

Tabla 14, Valores de muestras de calibración.

Muestra	Valor Obtenido (Litros)	Valor lógico (Litros)	Factor de Corrección
1	1.1	1.165	7
2	1.0	0.985	7.5
3	1.1	1.07	7.2
4	1.1	1.08	7.2
5	1.0	0.996	7.2

Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

Según el manual de fabricante en el Anexo F, el sensor tiene un error máximo de $\pm 10\%$, el cual es considerado en la desviación del dato que se obtiene en la medición presentada, determinando que el mejor valor para la corrección es 7.2, ya que la frecuencia dará los litros por minuto correspondientes.

Es importante considerar que los elementos utilizados para la calibración no son patrones ni poseen certificado de calibración que confirme su medida correcta. Por lo tanto, el error de calibración se debe a la suma del error del sensor más el error de los elementos de medición, por lo que se considera un margen del 15% de error en los datos presentados.

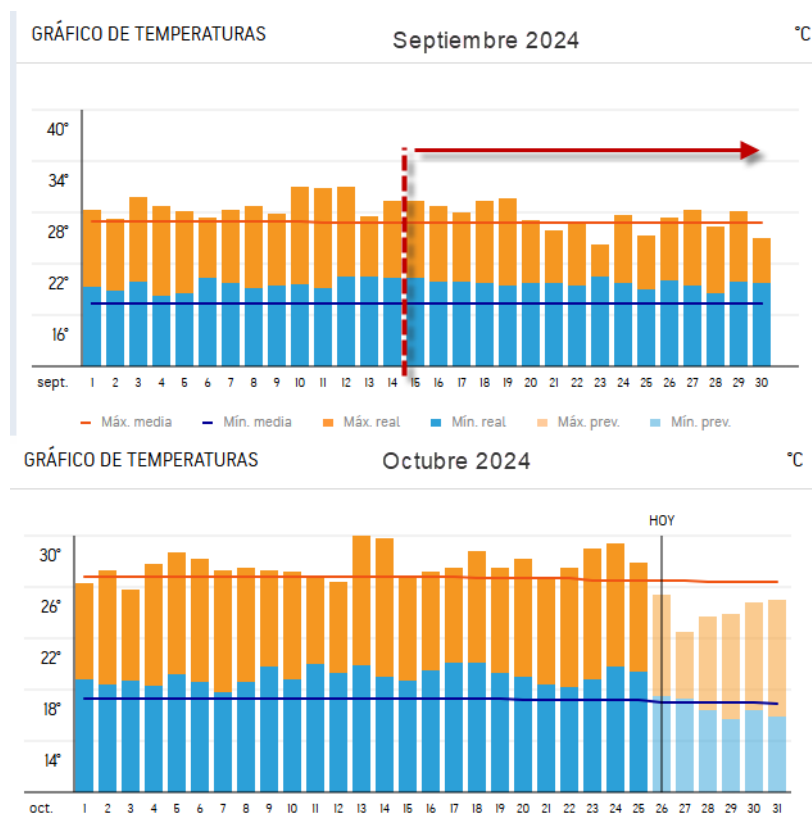
Al analizar los datos relacionados con la confiabilidad, se deben considerar las pruebas de funcionamiento en el medio elegido para el uso. Durante los días de prueba, en el rango de fechas del 15 de septiembre al 31 de octubre, las condiciones climáticas presentes en ese periodo se observan en la Figura 34. De esta figura se puede analizar que el prototipo estuvo expuesto a :

- Efectos de Lluvia ligera y lluvia fuerte

- Temperaturas desde los 14 grados centígrados hasta los 32 grados centígrados como máxima.
- Periodos de ausencia de sol, debido a neblina en las horas de sol.

Estos efectos sobre el prototipo del medio y el clima ocasionan contaminación en sus paneles solares, para monitorear el dispositivo se creó un registro fotográfico semanal con los cambios observados en el dispositivo, como se muestra en la Tabla 15.

Figura 34, Gráfico de temperaturas durante septiembre y octubre.



Fuente: Pagina Web del clima. (AccuWeather, Inc, 2024)

Autonomía energética del prototipo:

Es importante resaltar que este tipo de dispositivos con autonomía energética, no son nuevos en el ámbito tecnológico, sino que han sido implementados en aplicaciones donde llevar energía eléctrica producida por otra fuente es de muy difícil acceso o muy costosa. Casos

puntuales son las estaciones de radares climáticos, sismógrafos cercanos a los volcanes o fallas sísmicas, que no pueden depender de un suministro externo de energía debido a la complejidad de los terrenos.

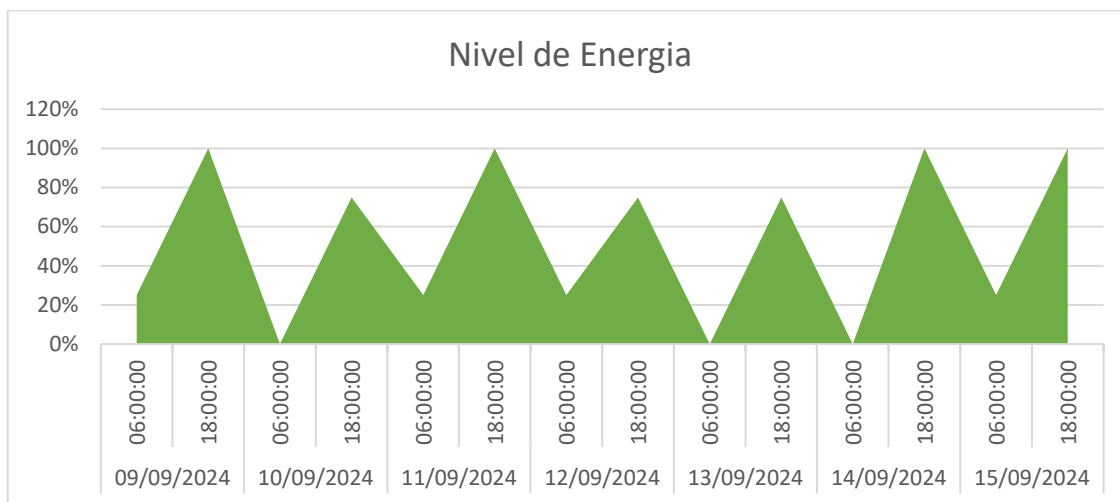
En el caso del prototipo, se demuestra que es totalmente viable utilizar como fuente de energía eléctrica la captación de la radiación solar en paneles con células fotovoltaicas que permiten el suministro continuo de energía durante el día al prototipo y a las baterías para su almacenamiento. En la Tabla 11 del capítulo 5, se puede analizar el desglose a nivel energético de consumo del prototipo.

Como conclusión se obtiene que:

- Las placas solares tienen una producción garantizada de energía de **25 a 30 años**. Sin embargo, la mayoría de los paneles solares continúan produciendo electricidad después de este periodo de tiempo. (EDP Energía, 2024)
- Las baterías de Litio convencionales del modelo 18650, seleccionadas para este proyecto, son relativamente livianas, no exigen mucho mantenimiento y tienen una larga vida útil de 500 a 1000 ciclos, y un ciclo de carga completo entre 5 a 7 horas. Con estos datos se concluye que el prototipo brinda una capacidad media de funcionamiento de más **de 2.7 años**, después de este tiempo, el cambio de baterías puede ser necesario.


En el siguiente gráfico de la Figura 33, se detallan los valores de energía obtenidos durante la observación de 7 días, se muestra la cantidad de energía en el controlador integrado. Se debe aclarar que el indicador de energía enciende solo en tramos de 25% de carga, de 0 a 100%, y las mediciones se realizaron todas a la misma hora, 6:00 am y 6:00 pm.





Figura 35, Grafico de carga y descarga de prototipo.



Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

Tabla 15, Registro fotográfico de funcionamiento.

Fecha	Fotografías
<p>Primer Semana de Uso 23 de septiembre 2024</p>	

<p>Segunda Semana de Uso 30 de septiembre 2024</p>	
<p>Tercera semana de Uso 7 de octubre 2024</p>	
<p>Cuarta Semana de Uso 14 de octubre 2024</p>	
<p>Quinta Semana de Uso 21 de octubre 2024</p>	



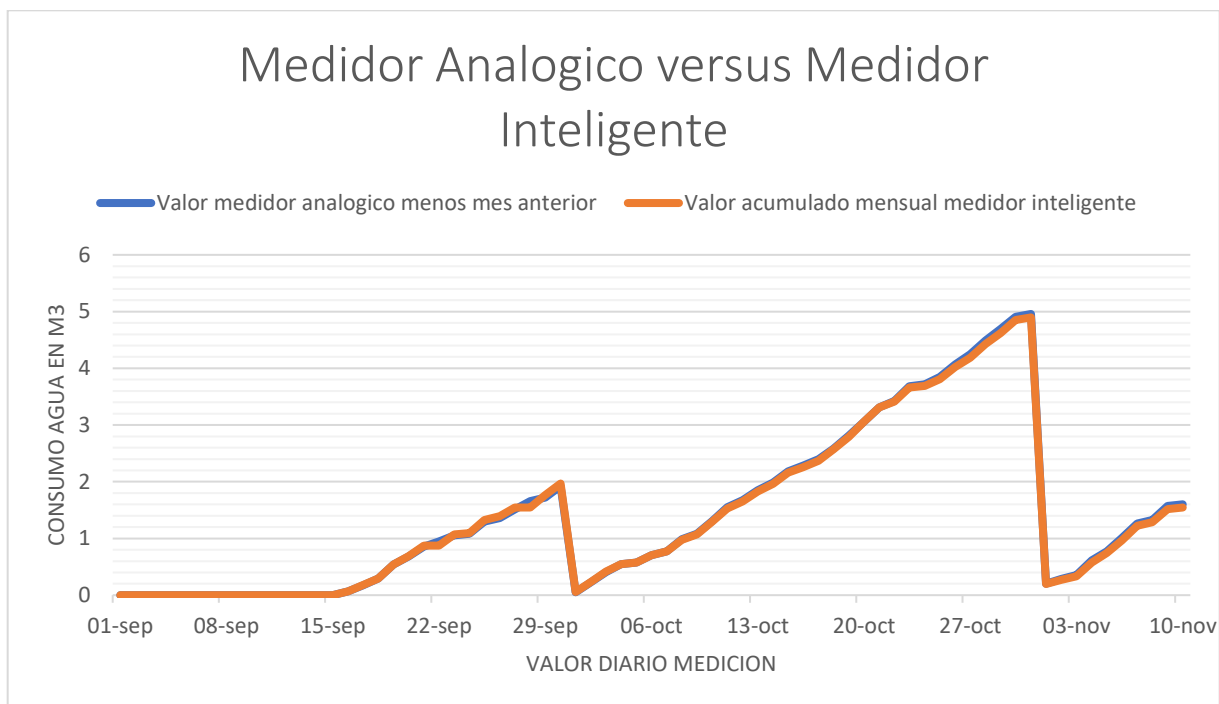
Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

En el apartado de conclusiones se compartirán los resultados alcanzados con las pruebas realizadas durante cada una de las semanas de uso y su comportamiento.

Para determinar la precisión de las tomas de datos, se basa en el análisis de los datos guardados por el medidor en la base de datos. Cabe aclarar que el código del programa envía los datos al servidor web cada hora, por lo que el histórico de datos del medidor inteligente es por hora. Sin embargo, para analizar la precisión se han tomado los valores registrados diariamente en el medidor físico analógico y se han comparado con los datos diarios del medidor inteligente. En la Figura 35, se muestra la comparación de estos datos por día, es importante considerar que ambos datos se comparan en metros cúbicos y después de la coma en cada valor representan los valores de litros.

El medidor inteligente reinicia los datos desde cero cada mes, por lo que la comparación en el medidor analógico corresponde a la diferencia entre el valor actual y el del mes anterior para que el valor sea comparable. Las muestras se tomaron aproximadamente a la misma hora, en el Anexo E se adjunta una porción del archivo extensión .CSV con las medidas del medidor inteligente.

Figura 36, Grafico de mediciones obtenidas en el medidor.



Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

Del gráfico anterior se debe considerar que el error de la medición entre el medidor físico y el medidor inteligente da en promedio mensual de 0.0504 m³, convertido a unidades de litros esto representa una desviación de 50,4 Litros por cada 4 m³ consumidos, o el equivalente a un 2.1 % con respecto al valor obtenido en el medidor analógico, esta desviación se puede deber a varios factores que se analizarán en las conclusiones.

Durante los 45 días que ha funcionado de manera continua se han presentado algunas fallas en el dispositivo, que se deben de considerar como recomendaciones para el diseño de la segunda versión del dispositivo prototipo.

Un resumen de los eventos presentados y sus respectivas acciones correctivas realizadas para mejorar el prototipo se encuentran en la Tabla 16.

Tabla 16, Eventos durante las pruebas de funcionamiento.

Fecha	Evento	Acción Correctiva
17 -Sept-24	Medidor se queda sin energía de baterías antes de medianoche	Se incrementa en 1 batería la capacidad instalada del medidor
17 -Sept-24	Pérdida del último valor medido	Se implementa una memoria en la base MySQL para guardar el último dato y recuperarlo después de encendido
19 -Sept-24	Variación en las mediciones del sensor de flujo cuando hay ausencia de agua	Se implementa una válvula de retención en la tubería antes del medidor para evitar que el flujo de aire mueva el sensor.
19 -Sept-24	Exceso de datos enviados en periodos de tiempo muy reducidos	Se implementa envió de datos cada hora al servidor API en el código programa
30 -Sept-24	Variación significativa de datos los días domingo cuando hay faltante de agua	No se encuentra una causa aparente del fenómeno
3 -Oct-24	Falla del módulo regulador de energía	Se reemplaza el módulo y se encuentra indicios de humedad. Se colocan adsorbentes de humedad granulado dentro del prototipo
14 -Oct-24	Medidor se queda sin energía de baterías antes de medianoche	Se encuentra panel solar desconectado
17-Oct-24	Falla del sensor de medición de flujo	Se reemplaza el sensor de medición, debido a un cortocircuito en el sensor de grado alimenticio.
2-Nov-24	Filtración de agua en el panel	Se coloca sellante en uno de los tornillos de la placa LT HAT del módulo de comunicación.

Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

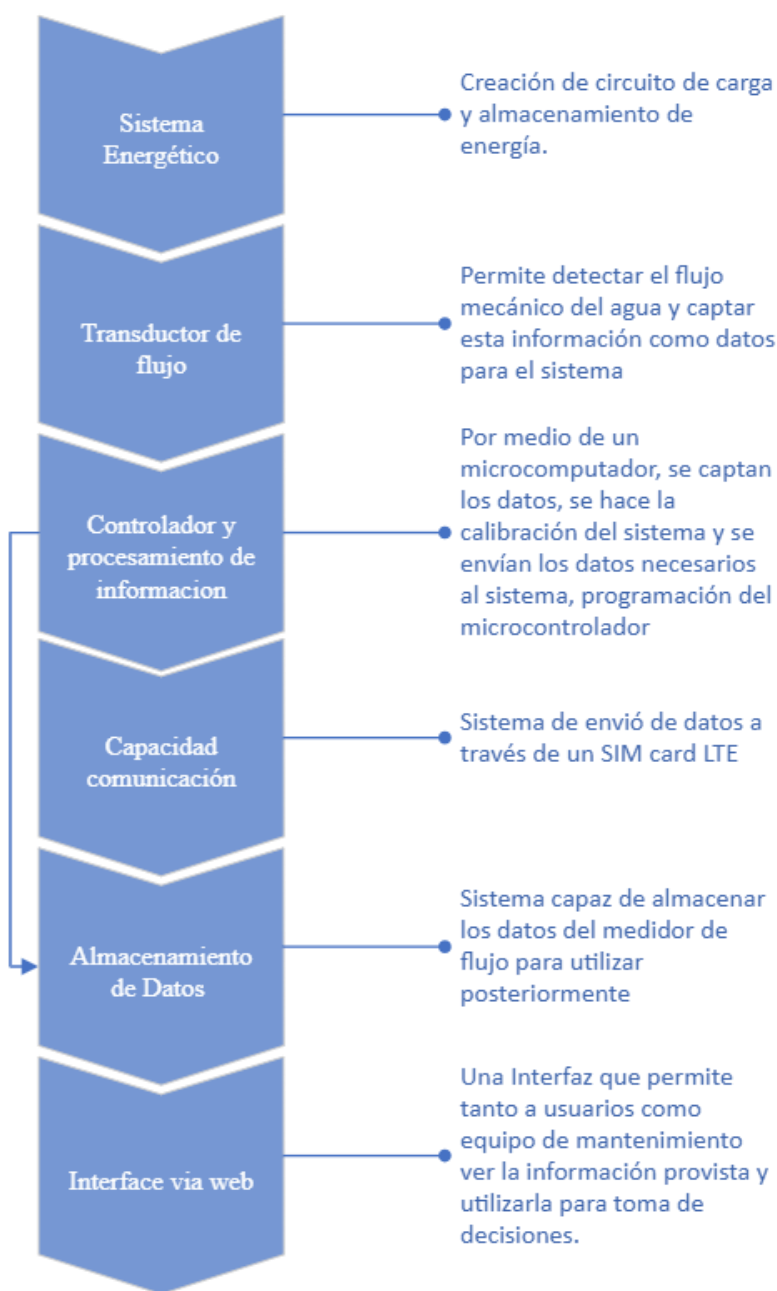
5.4 IMPLEMENTACIÓN

El prototipo se construyó de manera funcional, tomando en consideración todas las entradas de información provistas por los personeros de la municipalidad. Dentro de este proceso se evaluaron los siguientes aspectos funcionales para el sistema:

- Posibles lugares de instalación y sus condiciones ambientales.
- Posibilidad de impacto por agua, ya sea externa (tipo lluvia) o interna (por fugas o fallas del sistema).
- Capacidad de comunicación externa sin necesidad de conexiones de red locales disponibles.

Para comprender su construcción es necesario revisar el paso a paso de la construcción del prototipo, en el siguiente diagrama de flujo de la figura 32, se presentan las actividades más relevantes de la construcción, detallando cada paso en el ensamblaje. Adicionalmente, se ha construido un diagrama eléctrico que provee la información necesaria para el circuito eléctrico utilizado, el cual se encuentra en el Anexo D, Manual de Usuario.

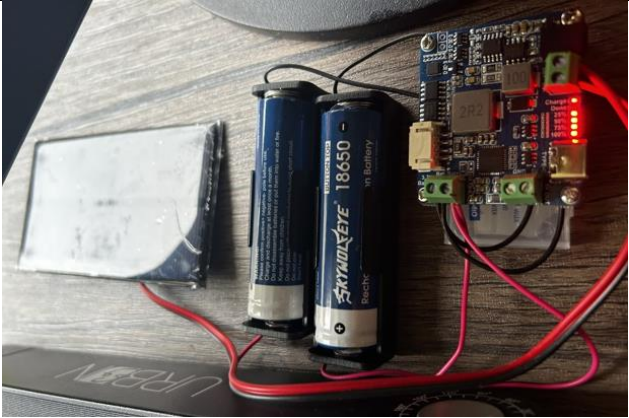
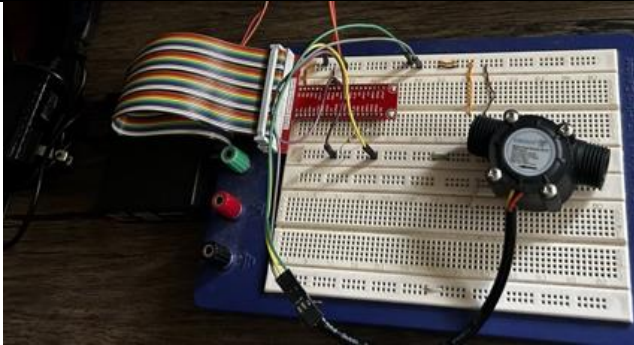


Figura 37, Diagrama de flujo de construcción.

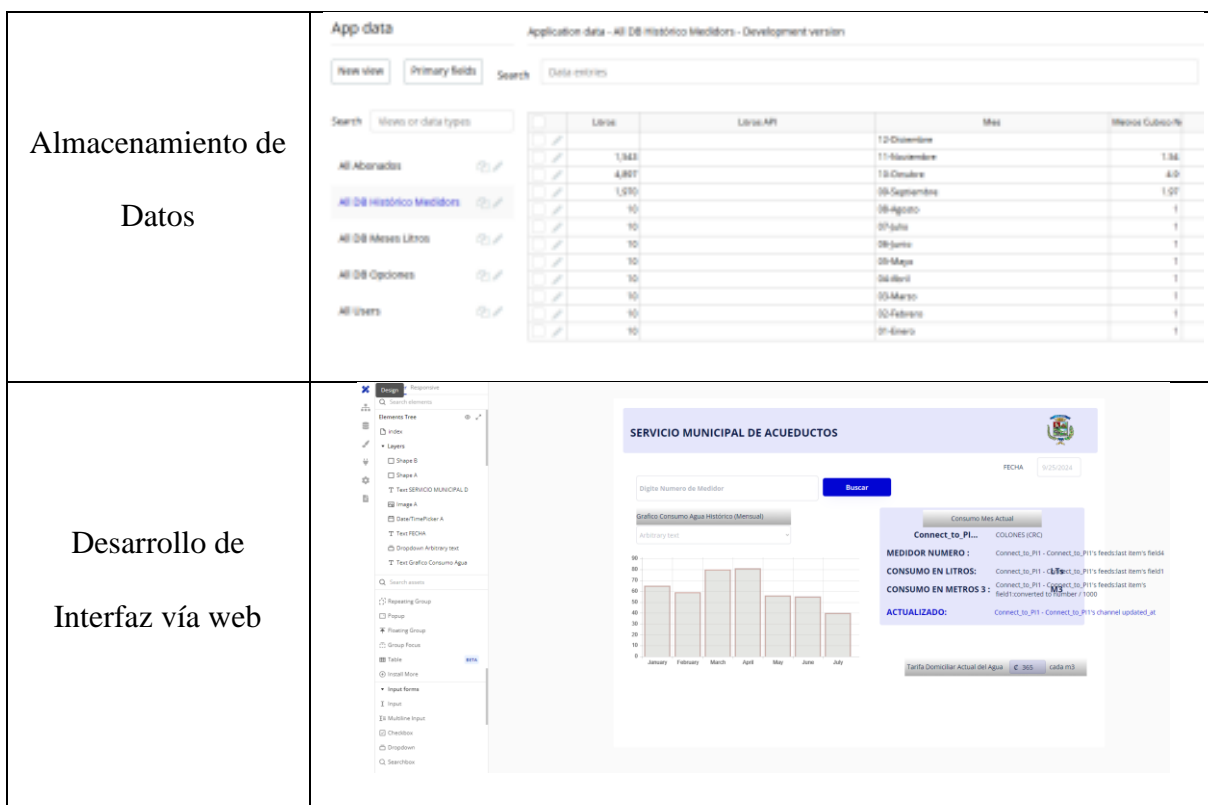


Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

En el siguiente registro fotográfico de la Tabla 17, se muestra cada uno de los pasos descritos en la Figura 32, el propósito ha sido crear un registro fotográfico de la construcción.

Tabla 17, Registro Fotográfico de la construcción

<p>Sistema Energético</p>	
<p>Transductor de flujo</p>	
<p>Controlador y procesamiento de información</p>	
<p>Capacidad comunicación</p>	



Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

Se observa de la tabla anterior, cada una de las fases constructivas el prototipo, donde por medio de un desarrollo sistemático de tareas se logra completar el mismo y hacerlo funcional.

5.5 ANÁLISIS DE COSTOS

En este apartado se presentan los valores de referencia del prototipo creado. Si bien se mencionó en el capítulo II, existen en el mercado medidores de flujo similares, pero dentro de las diferencias encontradas están las capacidades de autonomía energética y capacidades de comunicación. Por eso, se plantea en este apartado la descripción de cada diferencia entre el prototipo y los medidores disponibles en el mercado.

Diferencias más notables, para justificar su costo:

- Autonomía energética: debido a su sistema de carga solar y sus baterías de respaldo durante las horas sin sol, provee un beneficio libre de mantenimiento al menos por tres años.
- Capacidad de comunicación independiente: permite enviar los datos externamente sin necesidad de una red dedicada alrededor.

En la parte física, para la construcción del prototipo, se emplearon los siguientes componentes, todos resumidos con su descripción en la Tabla 18, donde se detallan la cantidad utilizada en el proyecto, así como la marca, fabricante y costo económico de cada parte.

Tabla 18 Listado de materiales:

Numero Parte	Nombre Fabricante	Descripción	Costo	Cantidad
solar DIY	Eujgoov	3 unidades mini panel solar DC 6V poli silicio módulo cargador solar DIY sistema kits con cable de 11.8 in	\$13.88	1
18650	DAIERTEK	DAIERTEK Soporte de batería 18650 con cable 3.7V 1 18650, soporte de batería de 7.4V 2 18650, soporte de batería 11.1V 3 18650, soporte de 14.8V 4 18650	\$9.99	1
Pi Zero 2	Raspberry Pi	Raspberry Pi Zero 2 W (inalámbrico / Bluetooth) 2021 (RPi Zero 2W)	\$22.50	1
Micro SD	SanDisk	SanDisk 32GB (Pack of 2) Ultra microSDHC UHS-I Memory Card (2x32GB) with Adapter - SDSQUA4-032G-GN6MT [New Version]	\$12.47	1
Pi Zero Case Kit	iUniker	Raspberry Pi Zero Case Kit, iUniker Pi Zero Aluminum Passive Case with Pin Header, OTG Hub, HDMI Adapter, on/Off Switch Cable for Pi Zero 2 w	\$9.99	1
G1/2	DIGITEN	DIGITEN Sensor de flujo de agua G1/2", medidor de flujo de efecto Hall Contador de flujo 1-30L/min - Compatible con Arduino, Raspberry Pi y filtro de ósmosis inversa	\$8.99	1

BSP G1/2 "	Hilo BSP	Hilo BSP del sensor de pasillo de flujo G1/2 ", medidor de flujo POM 1-30L/Min de grado alimenticio, Contador de flujo de grado alimenticio	\$10.49	1
Cat-1/GSM/GPRS/GNSS	Coolwell	Cat-1/GSM/GPRS/GNSS para Raspberry Pi Raspberry Pi 5 4B+ 4B 3B+ 3B 2B+ Zero W WH Jetson Nano basado en módulo A7670E posicionamiento GNSS Soporte LTE Cat-1 / 2G	\$36.50	1
JST-PH 2.0	Tiny Whoop	10 Uds. Actualizado Tiny Whoop JST-PH 2.0 macho y hembra Cable conector para batería JJRC H36 H67 Blade Inductrix E010 E013	\$6.99	1

Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

De este listado de partes se obtiene el costo inicial de los componentes, sin embargo, no es el único costo para considerar; el proyecto debe incluir los costos adicionales: diseño de ingeniería, desarrollo de la programación en Python para el Raspberry, y ensamblaje de las partes. Los costos de ingeniería y diseño se calculan en base a dos valores disponibles en el mercado.

La primera fuente es el salario mínimo establecido por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Costa Rica, o por sus siglas MTSS. Según el documento para el 2024, un bachiller universitario devenga un salario mínimo de ₡ 638.299,51. (MTSS, 2024)

Como segunda fuente de información se considera el costo por servicio profesional por hora del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, o por sus siglas CFIA, establecido en ₡37.700,00 por hora. (CFIA, 2024)

Dado que ambos valores presentan una diferencia significativa, se establece un valor de mercado medio, utilizado para un profesional con grado de bachillerato en ₡ 16.241.00 por hora.

El desarrollo de ingeniería se especifica en la Tabla 19, donde se detalla cada una de las actividades relacionadas y su costo aproximado.

Tabla 19, Detalle de desarrollo de Ingeniería.

Detalle	Horas	Costo Total
Desarrollo de planos de prototipo	4	₡ 64 964
Ensamblaje	6	₡ 97 446
Programación de Raspberry	16	₡ 259 856
Desarrollo de interfaz Web y base de datos.	12	₡ 194 892

Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

Continuando con el cálculo del costo final, se debe incluir el costo de importación de impuestos de cada una de las partes, se hace referencia a la factura de Aeropost por el servicio de importación por un total de \$28.75 USD. (Guillen, 2024) (Aeropost, 2024)

Resumiendo, todos estos costos, relacionados al prototipo se obtiene los siguientes datos:

- a. Costo de partes es \$131.80 USD, en colones es equivalente a ₡68.244 (tipo cambio 15 septiembre 2024, Banco Central, ₡ 517,79 a \$ 1)
- b. Costos de importación de partes \$17.26 USD, en colones es equivalente a ₡ 8.937,05 (tipo cambio 15 septiembre 2024, Banco Central, ₡ 517,79 a \$ 1)
- c. Costos de impuestos de importación \$11.49 USD, en colones es equivalente a ₡ 5.949,40 (tipo cambio 15 septiembre 2024, Banco Central, ₡ 517,79 a \$ 1)
- d. Costo de desarrollo de ingeniería, total de ₡ 617.158,00; el costo de desarrollo de un solo prototipo es muy alto comparado a producción de múltiples iguales.

La suma de estos valores obtiene un costo total de ₡700.289,20; como costo total del primer prototipo. Para comparar el dispositivo realmente con un producto disponible en el mercado; se

plantea un escenario donde se estima el costo de cada dispositivo si se hace una producción en serie de un lote de 1000 unidades, donde se pueda diluir correctamente los costos de ingeniería, analizando este escenario se obtienen los siguientes valores:

- e. Costo de ingeniería por cada unidad será igual ¢ 617.15, para un lote de 1000 unidades fabricadas idénticas.

En este posible escenario de desarrollo, la producción de 1000 unidades reduce su costo de cada unida a ¢ 83.748,34, un costo muy superior a cualquier otro medidor de flujo disponible en el mercado.

Actualmente según el informe del AyA, actualmente se requiere una estrategia que busque la sustitución de medidores para que impacten de manera positiva la facturación y que, además, aumente al menos en un 500% la cantidad de medidores sustituidos por año. Este incremento representa superar los 190.000 medidores sustituidos, para ello se generó un cronograma para la instalación de medidores contemplando: identificación clara de la cantidad de medidores por ingresar, cronograma de instalación de medidores de acuerdo con la fecha de ingreso, la capacidad AyA y servicios de terceros y la definición de la metodología de seguimiento que realizará la Gerencia General para su cumplimiento. (AyA, 2024)

Muchos de estos valores se han estimado, basados en la información disponible de la municipalidad. Para poder comparar la información correctamente se hace un comparativo de costos por cada 1000 unidades. Para entender la Tabla 20 de análisis de costos se debe considerar los siguientes valores:

- El costo de referencia del medidor actual se utilizó de una referencia de mercado, pactado en ¢27,500. (Construplaza, 2023)

- El costo del operador de medición se toma de documento de salario global transitorio de la municipalidad, estimando su trabajo en 100 medidores revisados por día. (Municipalidad de Cartago, 2023)
- El valor del costo de consumo, del vehículo en combustible, aceites, y mantenimientos, más el costo propio del vehículo se tomas del documento Gastos ordinarios de la municipalidad, haciendo la suma de los costos relacionados por cada vehículo y sacando su estimado diario. (Municipalidad de Paraiso, 2022).
- El valor estimado de perdida de agua se toma de la nota de la nación basado en el informe publicado de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), donde señala para atender la demanda de sus clientes, los acueductos están incurriendo en una pérdida del 57% del líquido. Esto significa que extrae más agua de la necesaria para abastecer a sus abonados. (Salas, 2024)
- Para la medición de la huella de carbono, se considera el consumo de combustible del vehículo por las horas trabajadas diariamente, con los kilómetros recorridos y el promedio de kilómetros por litro, se puede calcular la cantidad de litros de combustible que el carro municipal consume, se debe tener en cuenta que, al consumir un litro de gasolina se producen 2.31 kg de CO₂. (Michelin Connected Fleet, 2023)

Tabla 20, Análisis de costos.

Costos Medidores Actuales	Costo 1 año		Costo 3 años	
	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Detalles por 1000 medidores				
Costo Medidor	€27,500,000	Colones	€27,500,000	Colones
Costo de Medición manual, Un encargado 10 días al mes, 100 mediciones por día.	€3,308,501	Colones	€9,925,502	Colones
Costos de traslados de medición, vehículo, combustible por 10 días de trabajo	€540,000	Colones	€1,620,000	Colones
Perdidas por fugas de agua estimadas (perdida recurso agua del 57%)	€23,940,000	Colones	€71,820,000	Colones
Impacto de huella de carbono método medición actual (10 días) mes por año	2.16	Ton CO ₂	6.48	Ton CO ₂

Total, de Costos de Medidores Actuales	€55,288,501	Colones	€110,865,502	Colones
Costos Medidores Nuevos Autónomos	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Detalles por 1000 medidores				
Costo Medidor	€83,748,740	Colones	€83,748,740	Colones
Costo de Medición, pago anual de servidores	€199,680	Colones	€199,680	Colones
Costos de traslados de medición, vehículo, combustible por 10 días de trabajo	€0	Colones	€0	Colones
Perdidas por fugas de agua estimadas (perdida recurso agua >10%)	€4,200,000	Colones	€12,600,000	Colones
Impacto de huella de carbono método medición actual (10 días) mes por año	0.00	Ton CO ₂	0.00	Ton CO ₂
Total, de Costos de Medidores Nuevos	€88,148,420	Colones	€96,548,420	Colones

Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

5.6 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

En este apartado se establecen las condiciones sobre las que podría funcionar el prototipo según sus especificaciones técnicas, para definir estas especificaciones son suministradas por medio de la información obtenida en el capítulo 4, por parte de los personeros de la municipalidad.

Condiciones Técnicas:

- A nivel de energía el prototipo opera a un voltaje denominado muy seguro de 5 voltios.
- A nivel de aislamiento, opera bajo un panel IP65, que resguarda el equipo electrónico de las condiciones climáticas.
- Por diseño su autonomía se ha definido en 23 horas a partir de la ausencia del sol.
- Al prototipo se le han brindado capacidades de comunicación aun a parte de las capacidades propias del minicomputador, esto por medio de una conexión de red inalámbrica celular, por medio de un SIM LTE.
- Por medio de una plataforma web, se pueden obtener los datos disponibles en la memoria del prototipo y utilizar esa información para el uso de los clientes y municipalidad.

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

En este apartado se presentan las conclusiones relacionadas con la investigación completa y el alcance del proyecto de automatización basado en el capítulo 1, por lo que se exponen cada una de las conclusiones algunas relacionados a lo alcanzado o no de los objetivos planteados en el proyecto. Cada conclusión aborda uno a más objetivos según lo concluido a partir de la investigación, desarrollo e implementación.

6.2.1 Primera Conclusión:

Se ha determinado que, a nivel global, existen soluciones similares a las planteadas en el proyecto. Según la OMS y UNICEF (BBVA, 13), para el año 2030, cerca de 1600 millones de personas podrían quedarse sin el acceso al agua potable.

Basándose en esta referencia, es prioritario ahorrar agua en el hogar contribuir al cuidado del medioambiente debe ser prioridad. Mediante un consumo razonable y la vigilancia de todas las fuentes de agua. Además, la innovación es una aliada esencial por lo que se deben implementar esfuerzos por utilizar contadores inteligentes (o de tele lectura), mediante la tecnología de IoT.

En resumen, la idea no es nueva. El desarrollo de la tecnología para la medición del agua ha sido impulsado en economías como Australia, Chile, Vietnam y España; las cuales presentan situaciones diferentes a la de Costa Rica. En Costa Rica estas iniciativas en el sector del agua son relativamente nuevas, ofreciendo soluciones a gran escala en los centros de distribución de los municipios más grandes del país. Sin embargo, en los municipios más pequeños o con menos recursos, el uso de la tecnología para estas soluciones es más difícil.

Existentes soluciones viables fuera de Costa Rica, creadas, probadas y en funcionamiento, que garantizan una mejor distribución del recurso hídrico potable, alineadas con las recomendaciones de la OMS y la UNICEF, no obstante, estas necesidades aún no se han adoptado en las políticas gubernamentales para todos los administradores y distribuidores de agua potable, incluyendo al AyA, ASADAS, y Municipalidades.

En la municipalidad estudiada actualmente no existe implementado la telemetría para la medición del consumo, perdida y distribución de agua, y la próxima implementación solo cubre cerca del 50% de la distribución principal, dejando sin coberturas a los clientes finales y a las comunidades alejadas del centro del cantón.

6.2.2 Segunda Conclusión:

Es posible mediante del uso de ingeniería de mecánica de fluidos, transductores de movimientos para el flujo, un controlador y un sistema de envío de datos, construir un prototipo de un medidor inteligente.

Según lo analizado en el apartado 5.3, es totalmente viable crear un dispositivo que pueda generar, almacenar y suministrar energía para su funcionamiento. Este diseño incluye un sistema de recolección de datos, explicado anteriormente en el apartado 5.2.5., que permite cumplir con el objetivo de tener la información disponible tanto para el usuario como para el operador municipal. Cabe destacar que, una vez que los datos son enviados al servidor o a la aplicación API, es posible utilizarlos para análisis en casi cualquier aplicación. El diseño de la interfaz es completamente adaptable a las preferencias del cliente o del servicio municipal, permitiendo que los datos se presenten en forma de tabla, como grafico o como un dato único, en la figura 34 del capítulo V, se muestra una sección de los datos obtenidos almacenados en la base mySQL.

6.2.3 Tercera Conclusión:

Se concluye que el prototipo es inteligente compatible con un sistema IoT. El sistema diseñado es capaz de proporcionar la información necesaria para la medición, en comparación con el medidor analógico, y además puede compartir más datos que podrían ser necesario para el uso de mantenimiento del acueducto. Como se observa en la figura 28, este método de comunicación desde un dispositivo hasta un servidor de manera inalámbrica es una solución comúnmente utilizada para las comunicaciones entre controladores y servidores web.

En el apartado 5.3 de pruebas de funcionamiento, se obtuvo una desviación de 50 litros mensuales en comparación con el medidor analógico. Este valor podría ser fácilmente corregido en el medidor inteligente con una calibración rápida, la cual no es posible de esta misma manera en el medidor analógico.

El dispositivo ofrece una capacidad de funcionamiento y conectividad superior a los medidores actuales, además de reducir los costos de atención, lectura, y facturación de los servicios de agua.

6.2.4 Cuarta Conclusión:

Basado en la figura 34 del capítulo V, se entiende que en días con buen clima sin lluvia ni mucha nubosidad se logran las cargas completas de las baterías. Es decir, la autonomía energética, puede brindar un funcionamiento de hasta 30 años, con periodos de mantenimiento puntuales cada 2.7 a 3 años para el cambio de sistema de baterías.

Por lo tanto, se considera que el equipo construido provee un periodo de vida útil similar o superior al medidor actual, siempre que se realice su mantenimiento.

El sistema de baterías funciona correctamente, pero solo dentro del periodo de tiempo indicado. En conclusión, el uso de este medidor sin el mantenimiento adecuado reducirá su vida útil por debajo de la vida útil del medidor analógico, que es de 7 años.

6.2.5 Quinta Conclusión:

Como se observa en la figura 32, el prototipo ha sido ensamblado, completado y es funcional. Para comprender sus funciones, se ha preparado un folleto de descripción del dispositivo y sus principales características. Esta información se encuentra en el Anexo C, Folleto del producto, que servirá como la presentación comercial del producto, proporcionando una guía de características.

En conclusión, después de presentar el producto a un integrador local , y con la información de los datos técnicos, su versión funcional y su documentación constructiva, se ha logrado que el dispositivo sea de interés para su producción en serie por parte del integrador.

Esto demuestra que, comercialmente, es una opción viable que puede generar ingresos económicos a un inversionista para que producto pueda ser utilizado en múltiples lugares del país.

6.2.6 Sexta Conclusión:

En relación con la confiabilidad y durabilidad del equipo, se han desglosado sus capacidades físicas y técnicas, para aclarar los logros alcanzados con el diseño de este prototipo en cada área:

a. Confiabilidad:

- Todos los componentes seleccionados, aunque no están diseñados para exteriores, se han ensamblado en un gabinete hermético que cumple con el grado de protección IP65, lo que los convierte en un sistema más confiable.

- Todos los componentes han sido debidamente probados en el campo para asegurar que la información proporcionada en sus hojas de datos garantiza la confiabilidad en su funcionamiento correcto durante su vida útil.
- La conexión de la información con el sistema API, a través de la red LTE ha sido lo suficientemente estable a pesar de los cambios climáticos, incluyendo lluvia, frío, sol y calor extremo.

b. Durabilidad

- Como extensión de las conclusiones técnicas, se ha definido una vida útil muy superior, mayor a los 2 años sin mantenimiento, y de casi 30 años con el debido mantenimiento de los componentes.
- La prueba de campo proporcionará la información necesaria de durabilidad y desgaste después de estar en exteriores por 1.5 meses, se evidencian algunas señales de contaminación externa, pero no se encuentra contaminación interna. Además, en los paneles solares se observan marcas de agua seca debido a la lluvia y el sol, pero al realizar la medición de generación de voltaje, los paneles siguen proporcionando el mismo valor de voltaje que el día de la instalación.

En conclusión, con los datos obtenidos hasta la fecha de entrega del documento, se comprueba que el equipo es confiable y durable, como se muestra en la Tabla 15, donde se presentan algunas fotografías del uso posterior de 1.5 meses. Esto permite calcular que su vida útil esperada será similar o superior a los de los medidores actuales, los cuales tienen una vida útil de 7 años. (AyA, 2023)

6.2.7 Séptima Conclusión:

Según el capítulo IV, a nivel técnico, el ingeniero de acueductos aprueba el uso de la tecnología como método de medición y detección de fallas en el acueducto.

El encargado de la municipalidad comunica que se ha aprobado la inversión en utilización de la telemática para la medición en los tanques de almacenamiento y válvulas principales de distribución, según el documento de licitación “Dicha compra tiene como finalidad contar con los sistema y subsistemas de agua potable del acueducto municipal en lo que se refiere a captación, conducción, almacenamiento y distribución en óptimas condiciones para continuar brindando en el Cantón de Paraíso un servicio de agua potable de calidad, acorde a las normas de la ley de aguas y a la normativa de la Organización Mundial de la Salud (OMS).” (Municipal., 2024)

El ingeniero encargado de acueductos, indica que estas inversiones en sistemas telemáticos, con capacidades de conexión, deben de ser aprobadas por el consejo municipal, como partidas extraordinarias de dinero. Esto implica que estos presupuestos no están actualmente en el plan de desarrollo municipal.

Por lo tanto, se concluye que el interés de desarrollar esta tecnología está presente, pero aún falta inversión para lograr progresar en estas iniciativas de manera más fluida. El gobierno digital debe contemplar estas áreas de servicio como parte de sus políticas de desarrollo tecnológico.

6.2.8 Octava Conclusión:

Se concluye que el conocimiento en el área tecnológica y de telemática es necesario mediante el apoyo de un profesional en el área de la automatización o telemática. Aunque el ingeniero municipal está bien actualizado sobre opciones y capacidades de la tecnología

disponible, aún se debe presentar las capacidades y beneficios de la implementación de tecnologías IoT en el servicio municipal con el apoyo de profesionales del área.

Además, debido a la falta de normativa nacional que evidencie, donde evidencie la necesidad de implementar la tecnología en pro del desarrollo y cuidado del recurso hídrico, es crucial contar con la figura de un especialista en el tema de automatización que apoye la justificación de la inversión junto con el ingeniero de acueductos. Las inversiones que según el costo de cada unidad por mil producidas de ₡ 83.748,34; y asumiendo que la cobertura será para todos los abonados, el costo total de inversión será de ₡1.801.184.151,00, en el cantón.

6.2.9 Novena Conclusión:

Se creo un manual de uso para el usuario, con información técnica. Este manual está en el Anexo D, y se presenta información relacionada a:

- Indicaciones de seguridad y manejo del equipo.
- Descripción del sistema, características e intención de uso del equipo.
- Instalaciones mecánicas, hidráulicas y eléctricas del equipo, incluyendo información de conexión a tierra en caso de ser necesario
- Diagrama eléctrico, conexiones y mantenimiento del sistema en caso de falla, así como mantenimiento preventivo.
- Opciones de configuraciones, programación y calibración del dispositivo por medio de la interfaz de usuario.
- Baterías y su remplazo.
- Solución de problemas del dispositivo.

Después de compartir la información con Natalia Quesada Carvajal, técnico especialista en mantenimiento electrónico, se confirma que los datos presentados en el manual son relevantes y suficientes para realizar el mantenimiento correspondiente del equipo.

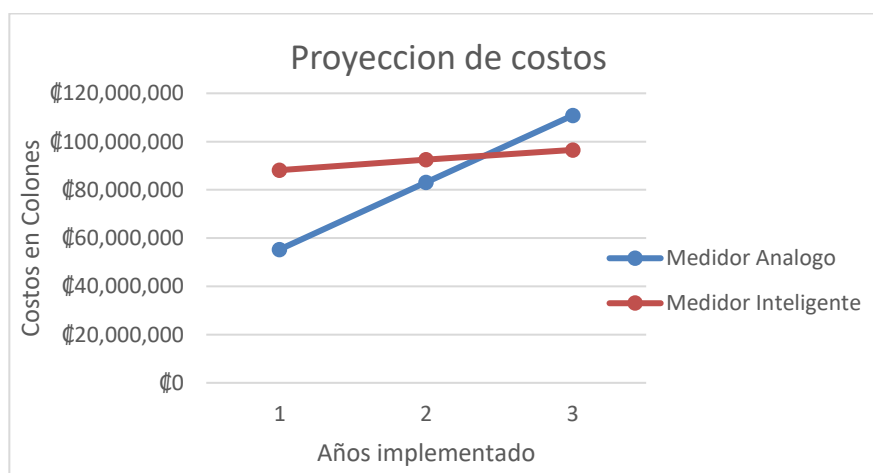
Esto permite concluir que la información es suficiente para el manejo, configuración y mantenimiento del prototipo creado.

6.2.10 Decima Conclusión:

Se ha estimado el costo de inversión de cada medidor en un monto de ₡ 83.748,34 . Sin embargo, para determinar si esto representa un beneficio para la municipalidad se debe analizar los costos compartidos en la Tabla 20, donde se muestra la información de los costos actuales de los medidores, costos de medición y costos de perdidas por fugas de agua no detectadas.

De la información planteada en la sección 5.5 de análisis de costos, se puede obtener que el que el nuevo sistema tiene un mayor costo de inversión inicial. No obstante, como se observa en la Figura 38, este costo se reduce con el tiempo en comparación con el sistema mecánico analógico. Los costos asociados al sistema actual continúan en aumento por las pérdidas de agua, y además deja cada vez una huella de carbono más considerable que el sistema propuesto.

Figura 38. Análisis de proyección de costos.



Fuente: Elaboración del autor (Fallas, 2024)

Se concluye que la inversión es justificable y el proyecto es viable a lo largo del tiempo, en comparación con la inversión, costos de mantenimiento y servicio de los medidores analógicos.

6.2.11 Undécima Conclusión:

Con base en la información compartida en el apartado 5.3 de pruebas de funcionamiento relacionada con el clima y las condiciones de funcionamiento reales, se concluye que, en condiciones controladas de temperatura y humedad en el gabinete se puede extender la vida útil del controlador por más de 2 años.

Por ello, es necesario implementar un método tecnológico, para la detección de fallas del controlador, ya que superado su periodo de vida podría fallar en cualquier momento.

En conclusión, para una producción en masa de los medidores es necesario diseñar tarjeta de control dedicada, lo cual será una opción más adecuada en durabilidad y costo.

Finalmente, se debe destacar que el controlador utilizado en este proyecto estará en producción hasta el 2030. (Raspberry Pi Ltd, 2024)

6.2 RECOMENDACIONES

En este apartado, se presenta una serie de recomendaciones, basadas en los estudios de la investigación, los resultados obtenidos durante el periodo de funcionamiento y las sugerencias de los funcionarios municipales que colaboraron con el proyecto.

6.3.1 Recomendación 1:

Dentro de las recomendaciones técnicas, es fundamental incluir en el panel del controlador del dispositivo elementos que disipen la humedad, con el fin de optimizar su funcionamiento y mantener las capacidades herméticas del dispositivo. Se sugiere el uso de

absorbentes de humedad, que son compuestos químicos diseñados para controlar el nivel de humedad interna, especialmente ante cambios drásticos de temperatura en el exterior. Dado que el dispositivo se encuentra herméticamente cerrado, estos absorbentes actuarán principalmente en situaciones donde el cierre hermético falle.

6.3.2 Recomendación 2:

A nivel de comunicaciones, es necesario considerar ciclos de envío de información. Para el diseño de una red de comunicación que cubra todos los abonados, es esencial optimizar el envío de datos que según Iglesias (Quiñones, 2016), la planificación de un diseño de este tipo debe incluir:

- Planificación, de acuerdo con la cantidad de estaciones bases disponibles en el cantón de Paraíso, definir un mapa de red que indique a cuáles estaciones se estarán enviando los datos y como administrar cada conexión entrante, además de la verificación de la cobertura en la zona. Por tanto, es una predicción idónea para visualizar si hay zonas del mapa del cantón que no tienen señal o en las que esta es insuficiente.
- Establecer la cobertura adecuada en la zona de implementación del sistema de medición.
- Asegurar el correcto funcionamiento de la red en relación con los niveles de potencia en caso de no tener en consideración la carga y el tráfico de las celdas.
- Encontrar si se ofrece servicio a determinadas zonas, especialmente aquellas localidades cercanas a las áreas urbanas, y gestionar la cobertura en zonas rurales donde puede ser más complejo.

- Para solucionar los problemas que se puedan presentar, hay que realizar las modificaciones en la red según sea necesario en comunicación con los proveedores de servicio. Se considera que una planificación frecuencial puede ser una buena opción. Este diseño de comunicaciones debe implementarse previo a la ejecución del proyecto a escala completa en la municipalidad.

6.3.3 Recomendación 3:

Para compartir los datos obtenidos por el medidor con los usuarios, el ingeniero de acueductos señala que toda la información debe ser validada antes de ser presentada. En caso de que surjan problemas de medición o errores en la lectura, los datos deben considerarse sensibles.

Este aspecto debe ser considerado en el diseño final del servidor web, de modo que los datos visibles para los usuarios no se actualicen de manera continua, sino de forma controlada, ya sea diaria o semanalmente. Esto permitirá que, mediante software, se verifique la consistencia de la información presentada

6.3.4 Recomendación 4:

Para optimizar el costo del dispositivo final, se recomienda considerar la construcción de una tarjeta controladora dedicada a las funciones esperadas, en lugar de utilizar una Raspberry Pi. Aunque los costos de configuración pueden ser similares, esta opción reduciría los problemas de configuración y el mantenimiento necesario en el futuro.

Además, es importante mantener el dispositivo a una temperatura de trabajo interna adecuada, lo que asegurará que los componentes operen en condiciones óptimas y, por ende, aumentará la durabilidad del sistema.

6.3.5 Recomendación 5:

Se recomienda que el dispositivo creado pase por un adecuado proceso de calibración y emisión de certificado de calibración, siguiendo la guía de instalación de micromedidores de ASADA del AyA (AyA, 2023), “Para medidores de 15 mm (1/2”) se recomienda realizar una revisión de calibración al alcanzar un consumo acumulado de 3000 m³ o alcanzar su vida útil (estimado en 7 años)”. Por lo tanto, para el medidor propuesto debe someterse a un proceso de calibración que se garantice el mismo tiempo de funcionamiento y vida útil, asegurando que las mediciones se mantengan dentro de los rangos establecidos.

La calibración de medidores de agua es fundamental identificar errores de medición, lo cual es crucial para mantener la integridad y la confiabilidad del consumo de agua en los hogares y la industria. Este proceso busca proteger a los consumidores proporcionando un servicio justo y seguro.

Dentro de los beneficios que da una calibración certificada del dispositivo se puede considerar:

- Reducción de pérdidas por mediciones inexactas.
- Mejoramiento en los planes de uso del recurso hídrico.
- Análisis de consumos reales para optimizar los recursos.
- Cumplimiento de regulaciones nacionales.
- Garantía de un cobro justo al usuario final.

¿Qué debe cumplir el proceso de calibración y certificación de un medidor de flujo?

El proceso debe asegurar que se cumplen con los siguientes requisitos para asegurar la precisión y confiabilidad de las mediciones.

- Trazabilidad: Los patrones utilizados para realizar la comparación de las mediciones deben ser trazables a nivel nacional o internacional.
- Normas y estándares: la calibración debe seguir las normas y estándares específicos, como las mencionadas en las ISO 5167 para dispositivos de presión diferencial o la ISO 4064 para contadores de agua. El laboratorio que realice la calibración debe cumplir con la norma ISO 17025.
- Método de calibración: El método más común utilizado es el de Comparación Directa (se utiliza un medidor de flujo de referencia que ha sido previamente calibrado para comparar las lecturas del medidor en prueba)
- Documentación: El proveedor encargado de la calibración debe proporcionar la documentación detallada del equipo a calibrar.
- Recalibración Periódica: para mantener la precisión a lo largo del tiempo.

Requisitos para la empresa que realiza la calibración del dispositivo

Laboratorio acreditado con la ISO 17025 o alguna ISO parecida, y el siguiente documento de respaldo:

En la emisión del certificado, verificar que el documento cumpla con la información correcta del dispositivo: fecha, identificación del medidor, resultados de la calibración, la incertidumbre de la medición, condiciones de la calibración (temperatura y humedad) y la firma del técnico responsable.

BIBLIOGRAFÍA

- AccuWeather, Inc. (2024). *Paraíso, Cartago*. Obtenido de [accuweather.com](https://www.accuweather.com/es/cr/paraiso/112409/october-weather/112409?year=2024):
<https://www.accuweather.com/es/cr/paraiso/112409/october-weather/112409?year=2024>
- Aeropost. (2024). *FACTURA ELECTRÓNICA 03200032010000503731*. Aeropost.
- Araya, E. (2022). Defensoría investiga a la Municipalidad de Paraíso por falta de agua potable. *CRC891*, 1.
- AyA. (2023). *Instalacion de Micro Medidores ASADA*. San Jose: AyA.
- AyA. (2024). *Rendición de Cuentas del Periodo 2023*. San Jose: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- BBVA. (2021 de 12 de 13). *Automatizar la medición del consumo de agua, la solución para un uso responsable*. Obtenido de Banco BBVA: <https://www.bbva.com/>
- Centro Cultural Paraiseño. (2010). *Paraíso, ... los abuelos y las abuelas cuentan la historia*. Paraiso: Impresora Sánchez.
- CFIA. (2024). *Hora Profesional*. San Jose: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- CM Batteries. (Enero de 2024). *Una guía completa de la batería recargable 18650*. Obtenido de [cmbatteries.com](https://cmbatteries.com/es/una-gu%C3%ADa-completa-para-la-bater%C3%ADa-recargable-18650/): <https://cmbatteries.com/es/una-gu%C3%ADa-completa-para-la-bater%C3%ADa-recargable-18650/>
- Consejo Salud Ocupacional. (2023). *Costa Rica: Estadísticas de Salud Ocupacional*. San Jose: Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.
- Construplaza. (2023). *Medidor de agua 1/2" (15 mm)*. Obtenido de [construplaza.com](https://www.construplaza.com/Materiales/Plomer%C3%ADa/Bombas-Para-Agua/Medidor-de-agua-12-15-mm/):
<https://www.construplaza.com/Materiales/Plomer%C3%ADa/Bombas-Para-Agua/Medidor-de-agua-12-15-mm/>
- Delgado, P. R. (2019). Contadores inteligentes para mejorar la gestión del agua. *El Mundo*, 1.
- Departamento Catastro . (2020). *Municipalidad Paraiso*. Obtenido de Comision Ambiental: https://www.muniparaiso.go.cr/files/news/96_pmgirs20222027aprobado cm.pdf
- Digi International Inc. (2024). *Aplicaciones de tecnología verde y soluciones IoT*. Obtenido de Digi Soluciones Web Page: <https://es.digi.com/>
- DIGITEN. (2020). *Technical Data YF-21*. DIGITEN.

- Dirección de Desarrollo Tecnológico. (2010). *Estimaciones de Consumo de agua*. San José : Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- Dumas, M. (2018). *Fundamentals of Business Process Management* (Vol. Segunda Edición). Springer.
- EDP Energía. (2024). *¿Qué duración tienen las placas solares?* Obtenido de EDP Energía: <https://www.edpenergia.es/>
- España, D. (2024). *Deloitte Touche Tohmatsu Limited*. Obtenido de <https://www2.deloitte.com/>
- Fallas, I. (2024). *Elaboración del autor*.
- Granados, G., & Perez, J. (2017). *Consumo de agua en un grifo de una unidad habitacional a través de la tecnología ZigBee*. Villavicencio: Universidad Cooperativa de Colombia .
- Grupo ICE. (2021). Grupo ICE Tecnología LTE. *Facebook*, 1.
- GSMA. (2014). *LTE Tecnología y Salud*. Reino Unido: <https://www.gsma.com/about-us/gsm-technology/>.
- Guillen, M. (2024). *Recibo MIA000041639410*. Cartago: Aeropost.
- helloworld.co.in. (2022). *Access Rest-API with Raspberry*. Obtenido de Hello World: <https://helloworld.co.in/article/rest-api-examples>
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de Investigación*. Mexico D.F.: McGRAW-HILL.
- IMN. (2021). *Clima Valle Central*. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2024). *Manual Técnico del Departamento de Aguas del Instituto Meteorológico Nacional*. San José: Sistema Costarricense de Información Jurídica.
- KOBOLD Messring GmbH. (2024). *Monitorización del caudal mediante un caudalímetro*. Obtenido de Kobold Web Site: <https://kobold.com/>
- Michelin Connected Fleet. (2023). *Como Calcular Emisiones de CO2*. Obtenido de [michelin.com: https://connectedfleet.michelin.com/es/blog/calcular-emisiones-de-co2/](https://connectedfleet.michelin.com/es/blog/calcular-emisiones-de-co2/)
- Mireya Zapata, L. T.-V. (2021). *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*. Quito, Ecuador: Editorial de la Universidad Tecnológica Indoamérica.
- MTSS. (2024). *Lista Salarios 2024*. San José : MTSS.

- Municipal., A. (2024). *Compras del servicio de los estudios del plan de seguridad del agua, plan de gestión de riesgos, plan de mantenimiento de la infraestructura, plan control operativo del acueducto, plan maestro de telemetría y automatización y estudio de tarifas: acueducto*. Paraiso: Departamento de Proveeduría.
- Municipalidad de Cartago. (2023). *Salario Global Transitorio*. Cartago: Municipalidad de Cartago.
- Municipalidad de Paraiso. (2022). *Presupuesto Ordinario para el Periodo 2022*. Paraiso: Municipalidad de Paraiso.
- Municipalidad Paraíso. (2023). *Municipalidad Paraiso*. Obtenido de Organigrama: <https://www.muniparaiso.go.cr/organigrama>
- Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. New York: United Nations.
- PEN. (2020). *Informe Estado de la Nación 2020*. San Jose: Programa Estado de la Nación.
- Quiñones, L. I. (2016). *Planificación y Optimización de una red LTE con la herramienta ATOLL*. CATALUNYA: Univerdidad Poltecnica de Catalunya.
- Raspberry Pi Ltd. (April de 2024). *Raspberry Pi Zero 2 W*. Obtenido de datasheets.raspberrypi.com: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpizero2/raspberry-pi-zero-2-w-product-brief.pdf>
- Rodrigo, B. E. (2007). *Investigacion Un enfoque Cuantitativo y Cualitativo*. San Jose: EUNED.
- Salas, J. F. (2024). AyA sobreexplota fuentes de agua por su alto desperdicio del líquido. *La Nacion*, 1.
- Sarramona, J. (2023). *La Investigación En Ciencias Sociales*. Barcelona: ALPHAEDITORIAL HORSORI.
- The Raspberry Pi Foundation. (2024). *raspberrypi-zero-2-w*. Obtenido de Raspberrypi: <https://www.raspberrypi.com/>
- Touchais, M. F. (2020). *The Project Smart Met*. Obtenido de smart-met: <http://www.smart-met.eu/project>
- UTSAPS - AyA. (2021). *LÍNEA BASE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN Y COBERTURA ACTUAL, ACUEDUCTO MUNICIPAL DE PARAÍSO*. Paraíso: A y A.

Waveshare Support Team. (2024). *SIM7600X 4G & LTE Cat-1 HAT*. Obtenido de
<https://www.waveshare.com/>:
https://www.waveshare.com/wiki/SIM7600X_4G_%26_LTE_Cat-1_HAT

GLOSARIO

API:	interfaz de programación de aplicaciones (Application Programming Interface)
ARESEP:	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
ASADA:	Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados
AyA:	Acueductos y Alcantarillados
CFIA:	Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos
CSV:	Valores comunes separados (Common Separate Values)
GPIO:	Entradas/salidas de propósito general (Global Purpose Inputs and Outputs)
ICE:	Instituto Costarricense de Telecomunicaciones
IEEE:	Instituto de ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
IMN:	Instituto Metrológico Nacional
INEC:	Instituto Nacional de Estadísticas y Ciencias
INS:	Instituto Nacional de Seguros
IoT:	Internet de las Cosas (Internet of Things)
IP:	Código de protección (Ingress Protection Code)
ISO:	Organización Internacional de Estándares (International Standards Organization)
LTE:	Evolución a largo plazo (Long-Term Evolution)
MTSS:	Ministerio de Trabajo y Seguridad Social
OMS:	Organización Mundial de la Salud
ONU:	Organización de Naciones Unidas
RCA:	Análisis de Causa Raíz (Root Cause Analysis)
SCADA:	Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control and Data Acquisition)
SICOP:	Sistema Integrado de Compras Publicas
SIM:	Módulo de Identidad del Suscriptor (Subscriber Identity Module)
SQL:	Lenguaje estructurado de entrada (Structured Query Language)
UNICEF:	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
USD:	Dólares de Estados Unidos (United States Dollars)
WPAN:	Red de Área Personal Inalámbrica (Wireless Personal Area Network)

ANEXO A, Formatos de Investigación.

Entrevistas:

Nombre	Victor Meza	Fecha	24-sep-24
Cargo	Ingeniero Acueductos	Antigüedad en el puesto	

Preguntas Entrevista		Totalmente Deacuerdo	Deacuerdo	Neutro	Desacuerdo	Totalmente Desacuerdo	Otra Opción
Falta Agua	P #1		X				Si por esto esta implementando el sistema temaltica en la comunidad con presupuesto extraordinario
	P #2				X		Ahora es poco comun con todas la mejoras realizadas en los ultimos años
	P #3	X					Es dificil actualmente pór eso se han implementado sistemas como denuncias en la pagina web
	P #4	X					Totalmente deacuerdo
Método Medición	P #5	X					Si por exposicion del sol
	P #6	X					
Solución Tecnológica	P #7			X			Si podria ser suficiente
	P #8	X					si seria ideal
	P #9	X					
	P #10					X	No, los datos son sensibles deben ser revisados primero

En una opción Automatizada ¿Que características le gustaría que tuviera?

Debería de tener la capacidad de tener llave de corte en bronce, y acoples machos y hembra pueden ser plasticos

En una opción Automatizada ¿Que limitaciones tendríamos para implementarlo en su distrito?

La principal limitacion son los costos de implementacion, que pueden ser muy altos para realizar, requieren una presupuesto extraordinario que solo aprueba el consejo Municipal.

Observaciones del Entrevistador

Ninguna que agregar

Nombre Oscar Fernandez
 Cargo Ingeniero Acueductos

Fecha 24-sep-24
 Antigüedad en el puesto

Preguntas Entrevista		Totalmente Deacuerdo	Deacuerdo	Neutro	Desacuerdo	Totalmente Desacuerdo	Otra Opción
Falta Agua	1		X				
	2					X	
	3		X				
	4	X					
Método Medición	5	X					
	6	X					
Solución Tecnológica	7		X				
	8	X					
	9	X					
	10			X			

En una opción Automatizada ¿Que características le gustaría que tuviera?

Que la informacion este centralizada en el plantel Municipal

En una opción Automatizada ¿Que limitaciones tendríamos para implementarlo en su distrito?

El consejo Municipal y la partida de dinero para el proyecto

Observaciones del Entrevistador

Ninguna que agregar

Observaciones:

LISTA DE COTEJO PARA EVALUAR EL TRABAJO DE MEDICION DE AGUA

Lugar _____ Barrio Las Huertas, Birrisito **Tema:** _____ Lector de Medicion de Agua
Observador _____ Ivan Fallas Saenz **Lector:** _____ Rene Cruz
Fecha _____ 24-sep-24

Instrucciones: Marque con una X los criterios que se aplican en la observación, agregue los comentarios de la observación necesario, deje en blanco aquellos campos no observados

Criterio de Evaluación	Cumplimiento				Observaciones
	Siempre	Casi Siempre	A veces	Nunca	
1. Faltante de agua					
-Falta de agua en esta comunidad diariamente				X	
-Observan fugas de agua en una área de 400 metros				X	
2. Medición de consumo de agua					
-Los medidores se encuentran obsoletos o dañados			X		
-Los valores y escala de medición son legibles	X				
-Se evidencia alguna toma de agua sin medidor				X	
-La persona que toma los datos dura mas de 5 min por medidor			X		
3. Exposición a riesgos					
-La medición se realiza en zonas de terreno complicado			X		
-Se requiere posiciones ergonómicas diferentes a la habitual		X			
-Se expone durante la jornada a condiciones climáticas perjudiciales	X				

RESULTADOS DE LA VALORACION

Valores para cada Criterio	Asignar puntaje de	Valor Obtenido	Resultado de la observación:	
Siempre se cumple el criterio	5	29	35-45	El problema se evidencia siempre
Casi siempre se cumple el criterio	4		20-35	El problema es ocasional
A veces se cumple el criterio	3		0-20	No se evidencia problema
Nunca se cumple el criterio	2			
		Realizar la suma de cada valor por línea		

LISTA DE COTEJO PARA EVALUAR EL TRABAJO DE MEDICION DE AGUA

Lugar Barrio Las Huertas, Birrisito **Tema:** Lector de Medicion de Agua
Observador Ivan Fallas Saenz **Lector:** Jorge Moya
Fecha 24-sep-24

Instrucciones: Marque con una X los criterios que se aplican en la observación, agregue los comentarios de la observación necesario, deje en blanco aquellos campos no observados

Criterio de Evaluación	Cumplimiento				Observaciones
	Siempre	Casi Siempre	A veces	Nunca	
1. Faltante de agua					
-Falta de agua en esta comunidad diariamente				X	
-Observan fugas de agua en una área de 400 metros				X	
2. Medición de consumo de agua					
-Los medidores se encuentran obsoletos o dañados			X		
-Los valores y escala de medición son legibles		X			
-Se evidencia alguna toma de agua sin medidor				X	
-La persona que toma los datos dura mas de 5 min por medidor			X		
3. Exposición a riesgos					
-La medición se realiza en zonas de terreno complicado			X		
-Se requiere posiciones ergonómicas diferentes a la habitual		X			
-Se expone durante la jornada a condiciones climáticas perjudiciales	X				

RESULTADOS DE LA VALORACION			
Valores para cada Criterio	Asignar puntaje de	Valor Obtenido	Resultado de la observación:
Siempre se cumple el criterio	5	28	35-45 El problema se evidencia siempre
Casi siempre se cumple el criterio	4		20-35 El problema es ocasional
A veces se cumple el criterio	3		0-20 No se evidencia problema
Nunca se cumple el criterio	2		Realizar la suma de cada valor por línea

LISTA DE COTEJO PARA EVALUAR EL TRABAJO DE MEDICION DE AGUA

Lugar Barrio Margaritas, Laguna **Tema:** Lector de Medicion de Agua
Observador Ivan Fallas Saenz **Lector:** Olman Leandro
Fecha 27-sep-24

Instrucciones: Marque con una X los criterios que se aplican en la observación, agregue los comentarios de la observación necesario, deje en blanco aquellos campos no observados

Criterio de Evaluación	Cumplimiento				Observaciones
	Siempre	Casi Siempre	A veces	Nunca	
1. Faltante de agua					
-Falta de agua en esta comunidad diariamente			X		
-Observan fugas de agua en una área de 400 metros			X		
2. Medición de consumo de agua					
-Los medidores se encuentran obsoletos o dañados			X		
-Los valores y escala de medición son legibles		X			
-Se evidencia alguna toma de agua sin medidor				X	
-La persona que toma los datos dura mas de 5 min por medidor			X		
3. Exposición a riesgos					
-La medición se realiza en zonas de terreno complicado			X		
-Se requiere posiciones ergonómicas diferentes a la habitual	X				
-Se expone durante la jornada a condiciones climáticas perjudiciales	X				

RESULTADOS DE LA VALORACION			
Valores para cada Criterio	Asignar puntaje de	Valor Obtenido	Resultado de la observación:
Siempre se cumple el criterio	5	31	35-45 El problema se evidencia siempre
Casi siempre se cumple el criterio	4		20-35 El problema es ocasional
A veces se cumple el criterio	3		0-20 No se evidencia problema
Nunca se cumple el criterio	2		Realizar la suma de cada valor por línea

LISTA DE COTEJO PARA EVALUAR EL TRABAJO DE MEDICION DE AGUA

Lugar Santa Lucia **Tema:** Lector de Medicion de Agua
Observador Ivan Fallas Saenz **Lector:** Carlos Torres
Fecha 27-sep-24

Instrucciones: Marque con una X los criterios que se aplican en la observación, agregue los comentarios de la observación necesario, deje en blanco aquellos campos no observados

Criterio de Evaluación	Cumplimiento				Observaciones
	Siempre	Casi Siempre	A veces	Nunca	
1. Faltante de agua					
-Falta de agua en esta comunidad diariamente			X		
-Observan fugas de agua en una área de 400 metros			X		
2. Medición de consumo de agua					
-Los medidores se encuentran obsoletos o dañados			X		
-Los valores y escala de medición son legibles		X			
-Se evidencia alguna toma de agua sin medidor			X		
-La persona que toma los datos dura mas de 5 min por medidor			X		
3. Exposición a riesgos					
-La medición se realiza en zonas de terreno complicado			X		
-Se requiere posiciones ergonómicas diferentes a la habitual		X			
-Se expone durante la jornada a condiciones climáticas perjudiciales	X				

RESULTADOS DE LA VALORACION			
Valores para cada Criterio	Asignar puntaje de	Valor Obtenido	Resultado de la observación:
Siempre se cumple el criterio	5	31	35-45 El problema se evidencia siempre
Casi siempre se cumple el criterio	4		20-35 El problema es ocasional
A veces se cumple el criterio	3	Realizar la suma de cada valor por línea	0-20 No se evidencia problema
Nunca se cumple el criterio	2		

ANEXO B, Código de programa Python 3.

```

#Importar Librerias-----
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import MySQLdb
import time, sys
import urllib.request
import json
import threading
import telepot
import tkinter as tk
import os
#import PySerial
from datetime import datetime
from bs4 import BeautifulSoup
from urllib.request import urlopen
from telepot.loop import MessageLoop
from functools import partial
from tkinter import font
from tkinter import messagebox
from tkinter import *
#GPIO.setwarnings(False)
#Conexion Externa-----
tokenTelegram="6263778167:AAFInuCXeuinwgDhjgSNob0s0bJzKH_DEwM"
conexionTelegram=telepot.Bot(tokenTelegram)
ChatID=1529102906
print ("Incializacion de Programa de Medidor de Agua")
print ("Conexion Telegram abierta")
print (conexionTelegram.getMe())
print ("\nMedidor de Flujo de Agua Activo \n",conexionTelegram.getMe())
conexionTelegram.sendMessage (ChatID,"\nAcceso datos del medidor de agua
Numero \n")

#Conexion Externa API-----
global URL
write_API="4GX72P82MLSDGQCK"
read_API="DFTZJS6GK367YKUK"
URL="https://api.thingspeak.com/update?api_key=%s"%write_API
URL_Read="https://api.thingspeak.com/channels/2632443/feeds.json?api_key=DFTZJ
S6GK367YKUK&results=1"

#Conexion Interna SQL -----

```

```

conexionDB=MySQLdb.connect(host="localhost", user= "user@localhost",
password="Password123!", db="monitor")
cursorDB=conexionDB.cursor()

#Bitacora Creacion-----
global month
global hour
global Medidor
global Flujo
fechab=time.strftime("%d-%m-%y")
horab=time.strftime("%H:%M:%S")
month= int(time.strftime("%m"))
hour= int(time.strftime("%H"))
Medidor="976690"
nombreArchivo="/home/usuario/prototipo/"+Medidor +"Medidor+" log
"+fechab+".txt"
Flujo=0
print("Mes:", month)
print("Hora:", hour)
if os.path.exists(nombreArchivo):
    print ("El fichero existe...!!!")
    print ("Medidor de agua numero: ", Medidor)
    print ("Esperando Flujo de agua...")
else:
    archivo=open(nombreArchivo,"w")
    archivo=open(nombreArchivo,"a")
    archivo.write("Fecha-----Hora-----MES-----LITROS----Metros CUBicos\n")
    archivo.close()
    print ("El fichero no existia, se procedio a crearlo nuevo ")
    print ("Medidor de agua numero: ", Medidor)
    print ("Esperando Flujo de agua...")

# Restablecer al iniciar con el valor en memoria
if Flujo<=0:
    response = urlopen(URL_Read)
    data_json = json.loads(response.read())
    # print the json response
    # print("From API:", data_json)
    select=repr(data_json)
    print ("From API:", select)
    sel=select[380:385]
    cursorDB.execute("SELECT LITROS FROM DATOS WHERE ID=15;")
    record = cursorDB.fetchone()
    LITROS = record[0]
    Flujo=LITROS

```

```

    if Flujo <= 0:
        Flujo=float(sel)
    else:
        Flujo=LITROS
    print("Litros Acumulados en DataBase:", LITROS)
    print("Litros Acumulados en API:", Flujo)
    print("Mes Actual segun la DataBase:", month)
else:
    print("Litros Acumulados:", valor)

#Definicion de Variables - Ventana-----
ventana=tk.Tk()
ventana.title("Prototipo: Medidor de Agua v2")
ventana.geometry('500x520+200+130')
ventana.configure(background='#D3D3D3')
ventana.resizable(width=0,height=0)
ventana.config(cursor="")
ventana.config(relief="sunken")
ventana.config(bd=8)

canvas=Canvas(ventana, width=500, height=50)
canvas.create_line(10,20,480,20, fill="black", width=5)
canvas.pack()
marco1=tk.Frame(ventana, width=500, height=50)
marco1.pack()
canvas2=Canvas(ventana, width=500, height=50)
canvas2.create_line(10,20,480,20, fill="black", width=5)
canvas2.pack()
marco2=tk.Frame(ventana, width=500, height=100)
marco2.pack()
canvas3=Canvas(ventana, width=500, height=50)
canvas3.create_line(10,20,480,20, fill="black", width=5)
canvas3.pack()
marco3=tk.Frame(ventana, width=500, height=100)
marco3.pack()
canvas4=Canvas(ventana, width=500, height=20)
canvas4.pack()
marco4=tk.Frame(ventana, width=500, height=30)
marco4.pack()

#Variables control
global Ratio_Conversion
global cuentas
global MetroCubico
global Costo

```

```

global CostoM3
global Historico
global currentmonth
Historico= [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]
currentmonth=month
currenthour=0
Ratio_Conversion=7
cuentas=5
MetroCubico=0
Costo=0
CostoM3=365
cantidad=0
FLOW_SENSOR= 24

urllib.request.urlopen(URL+"&field1=%s&field2=%s&field3=%s&field4=%s"%(Flujo,
MetroCubico, month, Medidor))

#Configuracion del estado entradas y Salidas-----
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(FLOW_SENSOR, GPIO.IN, pull_up_down = GPIO.PUD_UP)

# Cuenta de frecuencia de sensor de pulsos de flujo de agua
def countPulse(channel):
    global Ratio_Conversion
    global cuentas
    global Flujo
    global MetroCubico
    global Costo
    global CostoM3
    global month
    cuentas = cuentas+1
    print (cuentas)
    print("Litros anterior: ",Flujo)
    flujoTemp = cuentas / (60*Ratio_Conversion)
    FlujoRound=round(flujoTemp,4)
    Flujo=round(FlujoRound+Flujo, 4)
    print("Litros nuevo: ",Flujo)
    LitrosValorLabel.config(text=Flujo)
    MetroCubicoTemp=Flujo/1000
    MetroCubico=round(MetroCubicoTemp,4)
    print("MetroCubico: ", MetroCubico)
    MetroCubicoValorLabel.config(text=MetroCubico)
    CostoTemp=CostoM3*MetroCubico
    Costo=round(CostoTemp,4)
    print("Costo Colones: ", Costo)

```



```

        cursorDB.execute("UPDATE DATOS SET HORAS = %s WHERE ID =
%s",(litros, hour))
        conexionDB.commit()
        urllib.request.urlopen(URL+"&field1=%s&field2=%s&field3=%s&field4=
%s"%(litros, MetroCubico, Mes, Medidor))
        print ("Datos enviados al web Sever API")
        fbitacora(Mes, litros, MetroCubico)
        print ("Bitacora Generada")
        print ("Consumo hora actual es: ", HoraHistorico[hour])
        print ("Consumo hora anterior fue: ", HoraHistorico[hour-1])
        currenthour=hour

    else:
        cursorDB.execute("UPDATE DATOS SET HORAS = %s WHERE ID =
%s",(litros, hour))
        conexionDB.commit()
        print ("Hora Actual ", hour)
        print ("Hora Memoria ", currenthour)

def fmostrarFecha():
    while True:
        global fecha
        global month
        fecha=time.strftime("%d-%m-%Y")
        month= int(time.strftime("%m"))
        fechaValorLabel.config(text=fecha)

def fmostrarHora():
    while True:
        global hora
        global hour
        hora=time.strftime("%I:%M:%S %p")
        hour= int(time.strftime("%H"))
        horaValorLabel.config(text=hora)

def fnotificacion(parametro):
    ChatID=1529102906
    if parametro=="1":
        print ("Sistema Calibrado por el Usuario")
        conexionTelegram.sendMessage(ChatID,"Sistema Calibrado:
"+str(fecha)+" "+str(hora))
        time.sleep(1)
        fcalibrar()
    elif parametro=="2":
        conexionTelegram.sendMessage(ChatID,"Sistema Reseteado a las :
"+str(fecha)+" "+str(hora))

```

```

        frestablecer()
        print ("Sistema Restablecido por Usuario")
    else:
        conexionTelegram.sendMessage(ChatID,"Opcion no configurada ")
def fcalibrar():
    global Ratio_Conversion
    print ("Sistema en calibracion, valor actual ",Ratio_Conversion)
    Ratio_Conversion=int(Ratio_ConversionNew.get())
    time.sleep(2)
    RatioConversionLabel.config(text=Ratio_Conversion)
    print ("Nuevo valor de Conversion ",Ratio_Conversion)

def frestablecer():
    print ("Sistema Restableciendo a cero")
    global cuentas
    global Flujo
    global MetroCubico
    global Costo
    global Ratio_Conversion
    Ratio_Conversion=7
    cuentas =0
    Flujo=0
    MetroCubico=0
    Costo=0
    RatioConversionLabel.config(text=Ratio_Conversion)

def fbitacora(parametro1,parametro2,parametro3):
    fechac=time.strftime("%d-%m-%y")
    horac=time.strftime("%H-%M-%S")
    archivo=open(nombreArchivo,"a")
    archivo.write(fechac+"      "+hora+"      "+str(parametro1)+"      ",
"+str(parametro2)+"      "+str(parametro3)+"      \n")
    archivo.close()

#Imágenes-----
#img=tk.PhotoImage(file="/home/usuario/Logo2.png")
#Entradas Datos-----
Ratio_ConversionNew=Entry(marco2,width=10)

#Salida Datos -----
Entry(marco3,textvariable=Flujo,justify=RIGHT).grid(row=7, column=2, padx =
(0,5))
Entry(marco3,textvariable=MetroCubico,justify=RIGHT).grid(row=8, column=2,
padx = (0,5))
Entry(marco3,textvariable=Costo,justify=RIGHT).grid(row=9, column=2, padx =
(0,5))

```

```

#Etiquetas-----
#Marco 1
PanelLabel=Label(marco1,text="Panel de Control",font=('Helvetica',14,'bold'))
SpaceLabel=Label(marco1,text="Medidor:",height= 1, width= 16)
MedidorLabel=Label(marco1,text=Medidor,font=('Helvetica',12,'bold'))
FechaLabel=Label(marco1,text="Fecha:",height= 1, width= 16)
fechaValorLabel=Label(marco1,font=('Helvetica',10,'bold'),height= 1, width=
16)
HoraLabel=Label(marco1,text="Hora:",height= 1, width= 16)
horaValorLabel=Label(marco1,font=('Helvetica',10,'bold'),height= 1, width= 16)
#Marco 2
ActivarLabel=Label(marco2,text="Calibrar:")
DesactivarLabel=Label(marco2,text="Restablecer Sistema:")
RatioLabel=Label(marco2,text="Ratio Actual (Litros/Giros)")
CalibracionLabel=Label(marco2,text="Ingresar Valor Calibracion Nuevo")
RatioConversionLabel=Label(marco2)
RatioConversionLabel.config(text=Ratio_Conversion)

#Marco 3
ConsumidoLabel=Label(marco3,text="Consumido:")
MetrosCubicosLabel=Label(marco3,text="Consumido:")
CostoLabel=Label(marco3,text="Costo Aproximado:")
LitrosLabel=Label(marco3,text="Litros",height= 1, width= 15)
MetricaLabel=Label(marco3,text="M3",height= 1, width= 15)
MonedaLabel=Label(marco3,text="Colones",height= 1, width= 15)
LitrosValorLabel=Label(marco3)
MetroCubicoValorLabel=Label(marco3)
CostoValorLabel=Label(marco3)

#Marco 4
EstudianteLabel=Label(marco4,text="Estudiante: Ivan Fallas
Saenz",font=('Helvetica',8,)).grid(row=9, column=0, columnspan=4,sticky="W")
CursoLabel=Label(marco4,text="Prototipo medidor
flujo",font=('Helvetica',8,)).grid(row=10, column=0, columnspan=4,sticky="W")

#Botones-----
CalibrarButton=Button(marco2,text="Calibrar",height= 1, width= 18,
command=partial(fnotificacion,"1"),bg='green')
RestablecerButton=Button(marco2,text="Restablecer",height= 1, width= 18,
command=partial(fnotificacion,"2"),bg='red')
#Posicion Etiquetas y Botones-----
#Marco 1
PanelLabel.grid(row=0,column=0,columnspan=2,padx=5,pady=5)

```

```

SpaceLabel.grid(row=1,column=1,sticky="W")
MedidorLabel.grid(row=2,column=1,columnspan=1,padx=5,pady=5)
FechaLabel.grid(row=1,column=0,sticky="W")
fechaValorLabel.grid(row=2,column=0,sticky="W")
HoraLabel.grid(row=1,column=2,sticky="W")
horaValorLabel.grid(row=2,column=2,sticky="W")
#Marco 2
ActivarLabel.grid(row=3,column=1,sticky="W")
DesactivarLabel.grid(row=4,column=1,sticky="W")
RatioLabel.grid(row=5,column=1,sticky="W")
CalibracionLabel.grid(row=6,column=1,sticky="W")
CalibrarButton.grid(row=3, column=2, padx = (0,5))
RestablecerButton.grid(row=4, column=2, padx = (0,5))
RatioConversionLabel.grid(row=5,column=2,padx = (0,5))
Ratio_ConversionNew.grid(row=6,column=2,padx = (0,5))

#Marco 3
ConsumidoLabel.grid(row=7,column=1,sticky="W")
MetrosCubicosLabel.grid(row=8,column=1,sticky="W")
CostoLabel.grid(row=9,column=1,sticky="W")
LitrosLabel.grid(row=7,column=3,padx = (0,10))
MetricaLabel.grid(row=8,column=3,padx = (0,10))
MonedaLabel.grid(row=9,column=3,padx = (0,10))
LitrosValorLabel.grid(row=7,column=2,padx = (0,5))
MetroCubicoValorLabel.grid(row=8,column=2,padx = (0,5))
CostoValorLabel.grid(row=9,column=2,padx = (0,5))

#Hilos-----
mostrarHoraHilo=threading.Thread(name="Hora",target=fmostrarHora,daemon=True)
mostrarFechaHilo=threading.Thread(name="Fecha",target=fmostrarFecha,daemon=True)

#Iniciar Hilos -----
mostrarHoraHilo.start()
mostrarFechaHilo.start()

# Principal-----
ventana.mainloop()

```

ANEXO C, Folleto de Presentación del Producto

Sistemas Automatizados Industriales

MEDIDOR AUTÓNOMO DE FLUJO DE AGUA CON CONEXIÓN EXTERNA

SEGURIDAD E INTERNET

Sistema posee conexión a internet por medio de la red 4G LTE.

ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Capacidad de almacenamiento de información en una base de datos interna, o bien por medio de conexión a una base de datos en la nube

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Como servicio adicional es totalmente integrable con Sistema de comunicación API, para enviar la información a cualquier sistema compatible.



- Medición de flujo de agua de 1 a 30 Litros / Min.

- Sin necesidad de conexión, Capacidad de autonomía de energía de hasta 23 horas sin energía solar.

- Tiempo de vida útil sin mantenimiento de 2 a 3 años, hasta 30 años con el respectivo mantenimiento.

- Uso externo, Cumplimiento de la IP 65, asegura la resistencia al agua y a la mayoría de los factores externos.

DATOS TÉCNICOS:

Eléctricos

Voltaje Alimentación: 5 Vdc
 Consumo Medio: 285 mA
 Temperatura Operación: 0 – 40° Celsius
 Baterías: 4 x 2200 mAh, ion de Litio, 3 años

Hidráulicos

Conexión: Adaptador Macho-Hembra 12 mm – 1/2"
 Flujo de Agua: 1-30 L/min

Conectividad

Banda: LTE-FDD: B1, B3, B5,
 GSM/GPRS/EDGE: 900/1800 MHz

SERVICIOS DISPONIBLES

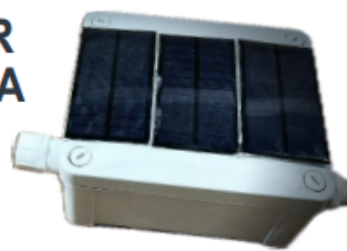
- Soporte técnico
- Instalación y configuración
- Mantenimiento
- Soporte técnico de aplicaciones
- Soporte técnico de hardware
- Garantía garantizada



ANEXO D, Manual de Usuario

1

MANUAL TÉCNICO DE MEDIDOR AUTÓNOMO DE FLUJO DE AGUA



1. Introducción

- **Descripción del producto:**

Este dispositivo permite medir el consumo de agua de manera inteligente y enviar la información de las mediciones a un sitio web para su posterior consulta.

- **Objetivo del manual:**

Este manual ha sido elaborado para guiar al usuario o encargado del mantenimiento del equipo en el uso y cuidado adecuado del producto.

2. Especificaciones Técnicas

- **Características:** En la siguiente sección se presentan las especificaciones técnicas, en donde se incluyen dimensiones, pesos y materiales, entre otros.

Especificaciones del medidor autónomo:

Datos	Rango de Funcionamiento
Generales	
Peso:	375 gr
Dimensiones:	220 x 160 x 120 mm (l x a x A)
Norma Hermética:	IP 65
Material Panel:	Plástico
Eléctricos	
Voltaje Alimentación:	5 Vdc
Consumo Medio:	265 mA
Consumo Máximo:	500 mA
Temperatura Operación:	0 – 40° Celsius
Baterías:	4 x 2200 mAh, ion de Litio, 3 años
Modelo Batería:	18650
Paneles Eléctricos:	Panel Fotoeléctrico de 6W
Error de la medición:	+/- 5%
Hidráulicos	
Conexión:	Adaptador Macho-Hembra 12 mm – 1/2"
Flujo de Agua:	1-30 L/min
Método de Medición de Flujo	Hall Sensor
Conectividad	
Banda:	LTE-FDD: B1, B3, B5, GSM/GPRS/EDGE: 900/1800 MHz
Wifi:	2.4GHz 802.11 b/g/n Wireless LAN
Bluetooth:	Bluetooth 4.2, Bluetooth Low Energy (BLE), on board antenna

Autonomía energética, libre de mantenimiento de 2 a 3 años, con mantenimiento a partir del tercer año.
 Dispone de capacidad para almacenar información en una base de datos interna, así como la opción de conectarse a una base de datos en la nube.

- **Requisitos del sistema:** En esta sección se especifican los requisitos necesarios para su funcionamiento.

Ambientales:

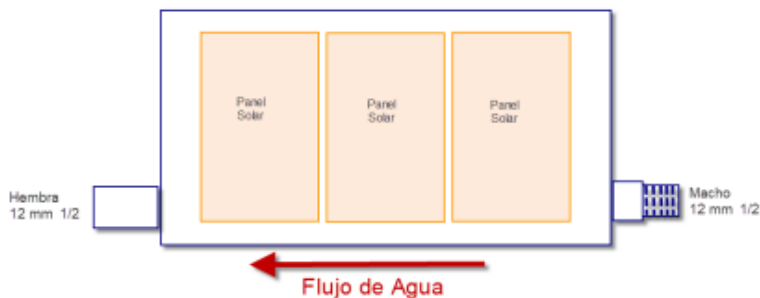
- Para uso exterior
- Compatible con tuberías PVC de 12 mm
- Presión máxima de trabajo 1800 Litros por Hora

Configuración:

- Para su configuración, se requiere VNC o un monitor con conexión HDMI para el controlador.
- Se proporciona una interfaz para la configuración del sistema, la cual se detalla en la sección de Uso del Producto.

3. Instalación

- **Instrucciones de instalación:** A continuación, se presentan los pasos detallados para la instalación del producto.
 1. Desempaque el producto de su envoltorio
 2. Conecte las baterías
 3. Realice las conexiones de las tuberías de agua, tanto de entrada como de salida, de acuerdo con el diagrama proporcionado:



- **Herramientas necesarias:** Lista de herramientas requeridas para la instalación.
 1. Llave de tuberías de 12 mm.
 2. Computador con acceso a internet para la configuración.

4. Uso del Producto

- **Instrucciones de operación:** Para utilizar el producto correctamente, se debe seguir el siguiente procedimiento:

Conecte un computador con acceso a VNC y abra la conexión remota a la dirección IP 192.168.1.122

Al encender el dispositivo, aparecerá la interfaz de configuración, que se detalla a continuación:

Para **Calibrar** el dispositivo, introduzca el nuevo valor de conversión de flujo de agua a litros y presione el botón **Calibrar**.

Si desea restablecer los valores de fábrica presione **Restablecer**. Tenga en cuenta que esta acción borrará toda la información almacenada en el dispositivo hasta el momento.

- **Consejos de uso:** Sugerencias para maximizar la eficiencia y seguridad:
 - Nunca abra el medidor sin el conocimiento necesario
 - Los paneles solares no requieren limpieza, si es necesario, realice la limpieza únicamente a temperatura ambiente utilizando una toalla húmeda.
 - Asegúrese de que el panel esté correctamente cerrado, ya que un cierre inadecuado puede comprometer la hermeticidad del dispositivo y provocar fallos.

5. Mantenimiento

- **Recomendaciones de mantenimiento:** Para cuidar y mantener el producto en óptimas condiciones, se sugiere lo siguiente:
 - Limpie los paneles solares únicamente cuando sea necesario.
 - Si observa presencia de humedad dentro del panel, instale adsorbentes de humedad.
 - Reemplace las baterías cada 2.7 años, para asegurar su funcionamiento adecuado.

6. Seguridad

4

- **Advertencias y precauciones:** El producto opera con un voltaje ultra bajo, lo que lo hace seguro. Sin embargo, es fundamental desconectar las baterías antes de cualquier tarea de mantenimiento.

7. Soporte Técnico

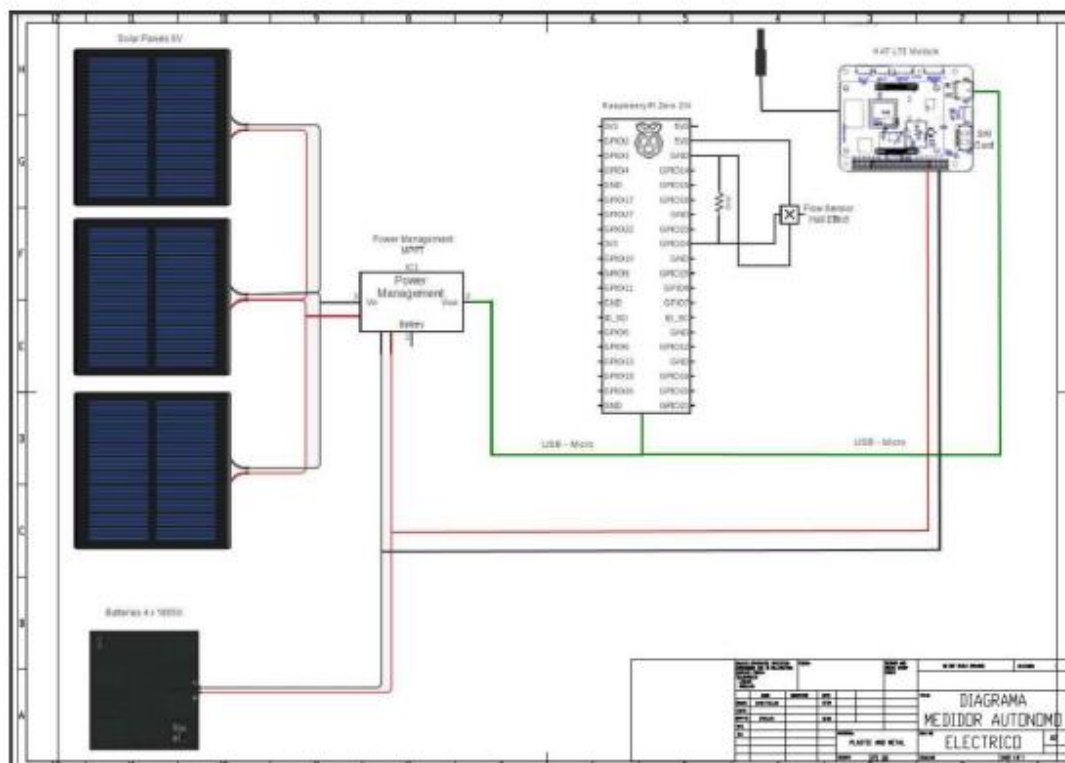
- **Información de contacto:** Para obtener asistencia técnica, puede comunicarse a través de los siguientes medios:

Correo electrónico: ivan.fallas@uhispano.ac.cr **Teléfono:** +506 7108-4332

- **Garantía:** El producto cuenta con una garantía de dos años.

8. Anexos

- **Diagrama Eléctrico**



ANEXO E, Datos Obtenidos en una fracción de tiempo

Fecha	Hora	MES	LITROS	Metros CUBICOS
07/11/2024	01:02:33 PM	11	1007.973	1.0079732
07/11/2024	02:44:51 PM	11	1007.974	1.0079742
07/11/2024	03:00:32 PM	11	1007.976	1.0079762
07/11/2024	04:08:05 PM	11	1007.979	1.0079792
07/11/2024	05:02:27 PM	11	1007.983	1.0079832
07/11/2024	06:00:09 PM	11	1007.987	1.0079872
07/11/2024	07:27:10 PM	11	1007.991	1.0079912
07/11/2024	09:02:44 PM	11	1007.999	1.0079992
07/11/2024	10:01:14 PM	11	1008.001	1.0080012
07/11/2024	11:12:16 PM	11	1008.004	1.0080042
08/11/2024	04:28:18 AM	11	1008.004	1.0080042
08/11/2024	05:15:20 AM	11	1008.005	1.0080052
08/11/2024	06:00:01 AM	11	1008.008	1.0080082
08/11/2024	07:27:23 AM	11	1008.017	1.0080172
08/11/2024	08:00:25 AM	11	1008.023	1.0080232
08/11/2024	09:00:07 AM	11	1008.03	1.0080302
08/11/2024	10:23:28 AM	11	1008.045	1.0080452
08/11/2024	11:04:30 AM	11	1008.051	1.0080512
08/11/2024	12:00:32 PM	11	1008.063	1.0080632
08/11/2024	01:00:04 PM	11	1008.072	1.0080722
08/11/2024	02:07:36 PM	11	1008.086	1.0080862
08/11/2024	03:01:17 PM	11	1008.101	1.0081012
08/11/2024	04:13:39 PM	11	1008.109	1.0081092
08/11/2024	05:00:41 PM	11	1008.123	1.0081232
08/11/2024	06:12:31 PM	11	1008.131	1.0081312
08/11/2024	07:27:45 PM	11	1008.148	1.0081482
08/11/2024	08:02:16 PM	11	1008.169	1.0081692
08/11/2024	09:00:48 PM	11	1008.194	1.0081942
08/11/2024	10:01:50 PM	11	1008.217	1.0082172
09/11/2024	05:27:52 AM	11	1008.232	1.0082322
09/11/2024	06:05:13 AM	11	1008.239	1.0082392
09/11/2024	07:00:35 AM	11	1008.248	1.0082482
09/11/2024	08:00:57 AM	11	1008.25	1.0082502
09/11/2024	09:07:59 AM	11	1008.251	1.0082512
09/11/2024	10:00:00 AM	11	1008.26	1.0082602
09/11/2024	11:00:02 AM	11	1008.269	1.0082692
09/11/2024	12:08:04 PM	11	1008.275	1.0082752

< >

Medidor 976690 log 07-11-24

+

ANEXO F, Hoja de Características de Sensor de Flujo

Flow-Pulse	Flow-Curve	Connection method
------------	------------	-------------------

→.Flow Range:100L/H-/1800H-L/H

Flow (L/H)	Frezq.(HZ)	Erro range
120L/H	16	±10
240L/H	32.5	
360L/H	49.3	
480L/H	65.5	
600L/H	82	
720L/H	90.2	

L/H

16 32.5 49.5 65.5 82 90.2 Freq.(HZ)

Connection method:

YIFA the plastics Ltd Prodcut Introduction

- 1.Mode:YF-21
- 2.Product Name:Hall sensor
- 3.Flow Range: 1-30L/MIN
- 4.(1)Connection Method

- (2)Voltage Range 3.5-24VDC, Pulse Characteristic:F=7Q(L/MIN).
- (3)Extent of error:±5%.
- (4)Flow-Pulse
2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ
8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

5.Bom

No.	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			