



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PROTOTIPO DE MEDICIÓN CON CONTADOR DIGITAL DE CONSUMO DE AGUA
POTABLE PARA DISMINUIR EL CONSUMO POR AIRE EN LAS TUBERÍAS DE
SUMINISTRO DE AGUA DE LA COLONIA RENACIMIENTO MUNICIPAL DE LA ZONA 18 DE
LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Marco Vinicio Fuentes Colchaj

Asesorado por Msc. Ing. Christian Antonio Orellana López

Guatemala, octubre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**PROTOTIPO DE MEDICIÓN CON CONTADOR DIGITAL DE CONSUMO DE AGUA
POTABLE PARA DISMINUIR EL CONSUMO POR AIRE EN LAS TUBERÍAS DE
SUMINISTRO DE AGUA DE LA COLONIA RENACIMIENTO MUNICIPAL DE LA ZONA 18 DE
LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARCO VINICIO FUENTES COLCHAJ

ASESORADO POR Msc. Ing. CHRISTIAN ANTONIO ORELLANA LOPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRONICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Inga. Ana María Navarro Orozco
EXAMINADOR	Ing. Helmut Federico Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Sergio Leonel Gómez Bravo
SECRETARIO	Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROTOTIPO DE MEDICIÓN CON CONTADOR DIGITAL DE CONSUMO DE AGUA
POTABLE PARA DISMINUIR EL CONSUMO POR AIRE EN LAS TUBERÍAS DE
SUMINISTRO DE AGUA DE LA COLONIA RENACIMIENTO MUNICIPAL DE LA ZONA 18 DE
LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 13 de abril de 2023.

Marco Vinicio Fuentes Colchaj



EEPFI-PP-0353-2023

Guatemala, 13 de abril de 2023

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Mtro. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **PROTOTIPO DE MEDICIÓN CON CONTADOR DIGITAL DE CONSUMO DE AGUA POTABLE PARA DISMINUIR EL CONSUMO POR AIRE EN LAS TUBERÍAS DE SUMINISTRO DE AGUA DE LA COLONIA RENACIMIENTO MUNICIPAL DE LA ZONA 18 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Internet de las cosas - Internet de las cosas**, presentado por el estudiante **Marco Vinicio Fuentes Colchaj** carné número **201503432**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería Para La Industria Con Especialidad En Ciencias De La Computación.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

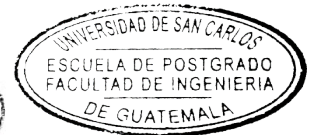
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Christian Antonio Orellana López
Asesor(a)



Mtro. Carlos Gustavo Alonzo
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-0352-2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **PROTOTIPO DE MEDICIÓN CON CONTADOR DIGITAL DE CONSUMO DE AGUA POTABLE PARA DISMINUIR EL CONSUMO POR AIRE EN LAS TUBERÍAS DE SUMINISTRO DE AGUA DE LA COLONIA RENACIMIENTO MUNICIPAL DE LA ZONA 18 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Marco Vinicio Fuentes Colchaj**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Mtro. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, abril de 2023



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.102.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROTOTIPO DE MEDICIÓN CON CONTADOR DIGITAL DE CONSUMO DE AGUA POTABLE PARA DISMINUIR EL CONSUMO POR AIRE EN LAS TUBERÍAS DE SUMINISTRO DE AGUA DE LA COLONIA RENACIMIENTO MUNICIPAL DE LA ZONA 18 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Marco Vinicio Fuentes Colchaj** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco
Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 25/10/2023 18:15:43
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, octubre de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 102 CUI: 2685501230101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Marco Fuentes y Natalia Colchaj, gracias por todo el apoyo y amor durante la carrera pude cumplir este sueño.

Mi hermana

Ana Fuentes, gracias por el apoyo incondicional en cada momento.

Mis abuelos

Por los valores que inculcaron en mi desde temprana edad, esta meta alcanzada es en nombre de ellos.

Mi familia

Por todo el apoyo y amor brindado durante mi tiempo como estudiante.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por permitirme cursar mis estudios superiores superiores y cumplir un sueño.

Facultad de Ingeniería

Por las enseñanzas y conocimiento que adquirí en sus instalaciones.

Mis amigos

Camillo Aleman, Javier Pérez, Karina Pérez, Kankin Cojti, Kevin Garcia, Ulum Cojti, Lesly Pérez, Carlos Yojcom, Daniel Vicente; gracias por acompañarme en este viaje de buenos momentos, altos y bajos, de quienes aprendí sin envidia durante la carrera.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
INTRODUCCIÓN.....	VII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
3. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.....	9
3.1 Objetivo general.....	9
3.2 Objetivos específicos.....	9
4. JUSTIFICACIÓN.....	11
5. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	13
6. ALCANCES.....	17
6.1 Perspectiva investigativa.....	17
6.2 Perspectiva técnica.....	18
6.3 Perspectiva de resultados.....	18
7. MARCO TEÓRICO.....	21
7.1 Flujo de un fluido.....	21
7.1.1 Concepto de caudal.....	23
7.1.2 Medición de caudal.....	24

7.1.3	Medidor de caudal ultrasónico	25
7.1.4	Medidor de caudal electromagnético	25
7.1.5	Medidor de caudal mecánico	25
7.2	Electrónica	26
7.2.1	Electrónica analógica.....	26
7.2.2	Electrónica digital.....	26
7.3	Microcontrolador	26
7.4	Modulo de presión MPX5500.....	27
7.5	Internet de las cosas (IoT)	27
7.6	Computación en la nube	28
7.7	Impresión en 3D.....	29
8.	PROPUESTA DE INDICE DE CONTENIDOS	31
9.	METODOLOGÍA	33
9.1	Tipo de estudio	33
9.2	Diseño.....	33
9.3	Alcance	34
9.4	Variables.....	35
9.5	Fases del estudio.....	36
9.5.1	Fase 1: Revisión del estado del arte.....	36
9.5.2	Fase 2: Escoger la tecnología adecuada para la toma de muestras	36
9.5.3	Fase 3: Construcción de prototipo	37
9.5.4	Fase 4: Pruebas de prototipo simulando el escenario	37
9.5.5	Fase 5: Interpretación de resultados	38
9.5.6	Fase 6: Elaboración de informe	38
9.6	Técnicas de recolección de información	38

10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	41
10.1	Análisis correlacional.....	41
10.2	Técnicas estadísticas	41
10.2.1	Medidas de tendencia central	42
10.2.2	Medidas de dispersión	42
10.2.3	Análisis grafico	43
10.3	Análisis comparativo	43
10.3.1	Tablas comparativas	43
10.3.1	Tablas de observaciones	43
11.	CRONOGRAMA.....	45
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	47
12.1	Factibilidad operativa	47
12.2	Factibilidad técnica.....	48
12.3	Factibilidad económica.....	48
13.	REFERENCIAS.....	51

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Diagrama de flujo para prototipo de medición con contador digital de consumo de agua.....	15
Figura 2.	Ecuación de Bernoulli	21
Figura 3.	Flujo de un fluido	23
Figura 4.	Medidor de Venturi	24
Figura 5.	Cronograma de actividades	45

TABLAS

Tabla 1.	Variables	35
Tabla 2.	Recursos económicos	49

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación propone la construcción de un prototipo de medición de consumo de agua potable de manera digital, esto como alternativa a los medidores de agua tradicionales los cuales mantienen mediciones fantasmas debido al aire existente en las tuberías, este problema es muy común en la zona metropolitana de la ciudad de Guatemala, debido a la escasez y mala administración de los recursos hídricos y la regulación del consumo de agua potable para las viviendas y sus altos precios se propone el prototipo el cual busca reducir la medición por aire en las tuberías de suministro de agua potable.

Para la construcción del prototipo se ha propuesto como primer punto la evaluación de distintas tecnologías el cual se escogerá una como sensor de medición de caudal de agua, esta debe de cumplir diferentes características como accesibilidad, bajo costo, buen rendimiento, bajo consumo energético y error de medición bajo; luego de escoger la tecnología adecuada para la medición se construirá una maqueta a partir de tuberías PVC el cual servirá para realizar distintas pruebas de medición, en donde se simularan los escenarios de la vida real donde habrá mediciones de agua potable fluyendo en las tuberías y de igual manera se pasara aire, se tomaran los datos de medición en tablas las cuales se les aplicara estadística descriptiva para conocer el comportamiento de la medición por medio de medidas de tendencia central, de esta manera confirmar si los datos reflejados por el prototipo cumplen con el objetivo de la reducción de la medición por aire en las tuberías.

Por medio de un microcontrolador se realizará el análisis y cálculo de las muestras tomadas por el sensor, dichas muestras serán enviadas por medio de conectividad a internet hacia la nube donde se mostrarán los datos tal y como los muestra el proveedor de agua potable, el detalle deberá demostrar el consumo de agua que se ha tenido y de esta manera demostrar si se ha reducido el consumo por aire.

En el capítulo de antecedentes se describe con base en publicaciones científicas como se han solucionado problemas similares al estudio propuesto, en la justificación se describe la línea de investigación en donde encaja el tema propuesto de la investigación, adicional se describe el problema de forma puntual y se propone la solución.

En la parte de alcances se delimita lo que abarcará la perspectiva investigativa, donde se menciona la evaluación de la tecnología adecuada a las necesidades de medición del prototipo o la selección de tecnología para el transporte de la información recabada, en la perspectiva técnica se toman en cuenta todos los alcances técnicos para el desarrollo y construcción del prototipo como lo es la reducción del error por medición de aire en las tuberías, en la perspectiva de resultados se menciona las necesidades básicas a cubrir con el prototipo como lo es la evidencia de los resultados obtenidos de la diferencia de medición entre un sensor digital y uno analógico.

En el marco teórico se tiene el concepto técnico de cada uno de los temas tocados en la elaboración del prototipo como lo es la medición de caudal hasta internet de las cosas. En la presentación de resultados se mostrará un resumen en tablas de las pruebas realizadas, así también como el resumen de la estadística descriptiva y graficas de los datos analizados.

En la discusión de resultados se comparará los resultados obtenidos y se dará paso a las conclusiones en donde se podrá confirmar si los objetivos planteados fueron alcanzados luego de realizadas las pruebas con el prototipo propuesto.

1. ANTECEDENTES

Existen diferentes artículos de distintas universidades los cuales plantean soluciones para la medición de caudal de agua, como ejemplo (Chiliquinga, Garcés, Bautista, y Rivas, 2022) en su artículo Artificial vision and IoT automation of remote Reading for limnimeters in hydraulic weirs en el cual se diseña y se implementa un prototipo de medición de caudal a base de la medición de cada 10 minutos de la altura del agua en un vertedero, para esta medición se colocó una cinta métrica desde la base del vertedero hasta su límite de capacidad, dicho vertedero tiene la forma de un trapecio, el cual, al conocer todos sus lados y como su única variable la altura se puede realizar el cálculo de la medición de caudal. dicha medición resulta con un 2 % de error, debido a la constante medición el error es mínimo, para la medición constante de la altura del vertedero se utiliza una cámara, por medio de filtros digitales realizados en el modelo de color en términos de sus componentes (HSV); se puede obtener mediciones claras sin importar la hora a la que se realice; adicional dichas mediciones de altura de agua en el vertedero se realizan con una cinta métrica pegada a la pared el cual es capturada su altura constantemente.

La cámara por medio de un algoritmo reconoce la altura a la que está el agua y realiza el cálculo por medio de un microcomputador Raspberry Pi y envía los datos obtenidos hacia internet por medio de transmisión y recepción con la tecnología Lora el cual es un dispositivo que puede cubrir largas distancias para la transmisión de información por medio de radio frecuencias, dicha información está disponible todo el tiempo en la nube.

En el artículo de Daroca, 2012 Ejemplo de aplicación con Arduino: Medida de caudal, se plantea una solución parecida a la utilizada tradicionalmente para la medición de consumo de agua potable en los hogares donde se tiene un sensor que mide el caudal a través de una hélice, dicho sensor está basado en el Koolance INS-FM17N, que es un sensor de medición de caudal de una refrigeración líquida para una computadora, dicho sensor es básicamente lo utilizado en contadores tradicionales de agua, pero la diferencia es que se utiliza de forma reciclada como proyecto de bajo costo, dicho dispositivo funciona por medio de una hélice y un sensor de efecto hall, el cual, está basado en un imán que cuenta el número de vueltas que completa una hélice, dicha vuelta es convertida en una señal eléctrica que mantiene una frecuencia utilizada para el cálculo de caudal a través del sensor, dichos datos son tratados por medio de un microcontrolador Arduino Mega y es mostrado el resultado de la cantidad de caudal por medio de una LCD.

En el artículo Design and implementation of an ultrasonic flowmeter based on the cross-correlation method (Ren, Wang, Sun y Quan, 2022) se plantea un caudalímetro con sensor ultrasónico basado en el método de correlación cruzada, dicho proceso se simuló en el software COMSOL Multiphysics 5.6. La propagación de ondas ultrasónicas durante el algoritmo de correlación cruzada fue simulada en Python y para el tratamiento de datos se utilizó la tarjeta field programmable gate array (FPGA), para tener mejores resultados por eficiencia y paralelismos al momento de realizar cálculos. Se realizaron diferentes pruebas en las cuales se comprobó que el medidor de flujo funciona en altas velocidades (26m/s) y un diámetro DN6 – DN1600, el error no superó el 0.81 % y el caudalímetro diseñado demostró alta precisión, estabilidad y confiabilidad.

Por otro lado, en el artículo Sistema de monitoreo de caudal y tirante para el laboratorio piloto de hidráulica de la facultad de ciencias matemáticas y físicas (Corapi, Acaro, Gaibor, y Villavicencio, 2021) se plantea un prototipo con base en un tubo de Venturi, basándose en el cambio de presión a partir de la diferencia de diámetro en las tuberías, dicha presión es tomada con el sensor MPX 5500 y es tratada a través de un microcontrolador Arduino, la diferencia de presión se procesa por medio de cálculos matemáticos y los resultados se monitorean en tiempo real por docentes y alumnos, dicho prototipo después de las pruebas mostró resultados interesantes y acertados en pruebas de laboratorio de hidráulica, haciendo el sistema económico y viable.

En el artículo Caudalímetro electromagnético a través de estimación de velocidades, aplicado a canal de laboratorio (Cantero, 1997) Se propone la medición de caudal por medio de la ley de inducción de Faraday, se genera un campo eléctrico en paralelo a la dirección del fluido por medio de electrodos colocados en las paredes de una superficie cuadrada en diferentes partes.

Para la medición se utilizó pequeños cuadros de metal como electrodos que generan una diferencia de potencial eléctrico entre ellos y en medio el fluido. Adicional, para la adquisición de datos se utilizó un amplificador de instrumentación basada en filtros pasa bandas para reducir el ancho de banda de ruido, los datos son adquiridos por una matriz de control de pines los cuales tienen 8 entradas y una salida, para el procesamiento de datos se realizó un algoritmo en C++ donde se realiza por medio de cálculos matemáticos una comparación de los datos tomados y adicional se agrega una corrección que se compara todo el tiempo con la entrada para que la medición sea la correcta.

Con base en todos los artículos citados anteriormente se valida que combinando diferentes tecnologías se puede realizar aplicaciones a la medida con relación a la medición de caudal de agua. Desde la forma más básica y tradicional como lo es medir por medio de una hélice y acorde al número de vueltas se puede realizar un cálculo de caudal hasta la medición de la velocidad del flujo por electromagnetismo. Con la combinación de electrónica y programación se realizan sistemas eficientes para la solución de problemas en cuestión de recursos hídricos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Vecinos de las colonias Las Ilusiones, Las Tapias, El Valle y Santa Faz, en la zona 18 capitalina, denuncian que llevan aproximadamente dos meses sin recibir agua potable en sus viviendas.

Los vecinos del lugar aseguran que deben acarrear agua, sin embargo, señalan que el recibo llega mensualmente en el cobro de pero que el vital líquido no es constante en sus viviendas. (Gutierrez C. , 2022)

Los contadores de agua potable proporcionados por la empresa distribuidora de agua están basados en un sensor analógico el cual tiene un pequeño molino que, al dar vueltas debido al flujo de agua, marca de acorde a las vueltas un caudal consumido, dicho caudal tiene un precio regulado por consumo.

Por la forma en cómo se transporta el servicio de agua potable es inevitable que este tenga aire dentro de las tuberías, el aire es tomado en cuenta en la medición del contador colocado por la empresa distribuidora de agua; el cual viene cargado en la factura mensual de consumo, muchas veces es excesivo y sin tomar en cuenta que también es un recurso faltante ya que no se presta el servicio 24/7 en la mayoría de los sitios.

Esto afecta principalmente a las personas que residen en las zonas urbanas de la ciudad capital, específicamente en la colonia Renacimiento Municipal de la zona 18 de la ciudad de Guatemala mayor mente como consumidor final, este problema viene afectando desde hace algunos años atrás como consecuencia de la mala distribución y organización de los recursos hídricos en la ciudad capital, adicional el crecimiento exponencial de la población que como consecuencia existen más viviendas y más demanda del servicio de agua potable.

Al momento que se realiza la medición errónea en el contador de agua potable se realiza un cobro, el cual no corresponde con lo consumido, esto es un problema que afecta directamente la economía de los guatemaltecos, debido a que hay un excedente en el presupuesto mensual para pago de servicios.

La necesidad de abastecerse de agua potable obliga a los guatemaltecos a buscar suministros alternos, en consecuencia, esto se suma como gasto extra al presupuesto para el servicio de agua potable; ya que, en la factura mensual, aunque no se tenga el servicio se registra un consumo en el contador.

Derivado de la problemática presentada se plantea la siguiente pregunta central:

¿De qué forma se puede realizar una medición alternativa a los contadores analógicos para disminuir el consumo por aire en las tuberías de suministro de agua potable en la colonia Renacimiento Municipal de la zona 18 de la ciudad de Guatemala?

Preguntas auxiliares:

- ¿Cuál sería la tecnología adecuada como alternativa a implementar en el prototipo de medición con contador digital de consumo de agua para disminuir el consumo por aire en las tuberías?
- ¿De qué manera se realizará la carga de datos obtenidos en el prototipo de contador digital en la colonia Renacimiento Municipal de la zona 18 de la ciudad de Guatemala?
- ¿Cómo se evidenciará la reducción en la medición por aire en las tuberías entre un contador analógico y el prototipo de contador digital en la colonia Renacimiento Municipal de la zona 18 de la ciudad de Guatemala?

3. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

3.1 Objetivo general

Realizar prototipo de medición de contador digital de consumo de agua potable para disminuir el consumo por aire en las tuberías de suministro de agua potable en la colonia Renacimiento Municipal de la zona 18 de la ciudad de Guatemala.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar y seleccionar la tecnología adecuada a implementar en el prototipo de medición de consumo de agua para disminuir el consumo por aire en las tuberías.
- Cargar en tiempo real el consumo de agua potable por medio de prototipo de medición de contador digital de consumo de agua, almacenarlo en una base de datos y por medio de IoT cargarlo hacia la nube.
- Comparar y comprobar la diferencia entre las mediciones de consumo de agua potable para evidenciar la reducción del consumo por aire en las tuberías en la colonia Renacimiento Municipal de la zona 18 de la ciudad de Guatemala.

4. JUSTIFICACIÓN

La investigación propuesta se justifica en el área de electrónica computacional, específicamente en la línea de investigación de IoT de la maestría en ingeniería para la industria con especialidad en ciencias de la computación.

La falta de agua potable y el mal manejo de los recursos hídricos en la zona 18 de la ciudad de Guatemala ha sido un problema persistente durante años, desde siempre por parte de la empresa distribuidora de agua se ha tenido una medición del consumo por medio de contadores tradicionales los cuales funcionan por medio de una pequeña hélice, el cual al girar hacen un conteo del caudal de agua que atraviesa las tuberías, esto es un método bastante anticuado el cual ya no es útil, ya que no se prevé el error de la medición por el aire en las tuberías, aunque existan métodos de sacar aire de las tuberías, de igual manera no funciona ya que se ve reflejado el consumo de aire en la factura mensual.

Como parte de la solución a la problemática se implementará un contador que realice lecturas de consumo por medio de un sensor digital, esto beneficiara a los vecinos de la Colonia Renacimiento Municipal de la zona 18, reduciendo la medición fantasma por aire en las tuberías, se aplicaran soluciones de IoT para modernizar la forma en la que se realizan las mediciones de consumo de agua potable, se mezclara electrónica, programación y base de datos para dar solución a la problemática.

La importancia de solventar el inconveniente es principalmente la economía del guatemalteco con ingresos promedio, adicional el presentar soluciones con tecnología que pueden ser aplicadas en el uso diario en los hogares encamina al desarrollo.

Los beneficios de la creación del prototipo para la solución a la problemática serían los siguientes:

- La población de la colonia Renacimiento Municipal de la zona 18 que utiliza el servicio de agua potable reducirá el cargo de consumo por aire en las tuberías.
- La empresa distribuidora de agua podría utilizar el prototipo incluso a nivel macro desde la tubería distribuidora general como análisis para validar si corresponde el consumo de agua general con lo distribuido y validar donde existen posibles robos o contadores alterados.
- No será necesario una persona que llegue a medir el contador, ya que se propone realizar las mediciones en tiempo real y cargarlas a la nube para que estén disponibles en todo momento.

La relevancia del estudio de alternativas para la medición de consumo de agua potable es importante para el desarrollo y modernización en la infraestructura urbana, adicional presentar tecnologías en auge que formen parte de la solución en la problemática social y económica de los guatemaltecos y en las empresas el permitirse modernizar sus procesos.

5. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

A partir de la forma en la que se mide el consumo de agua tradicionalmente, surge la necesidad de buscar alternativas que respalden a los vecinos de la Colonia Renacimiento Municipal de la zona 18 con el consumo de agua potable.

Con base en la problemática ya mencionada se propone la creación de un prototipo de medición para la reducción de la medición por aire en las tuberías de distribución de agua potable en la colonia Renacimiento Municipal, dicho prototipo estará basado en electrónica digital e IoT; como base de la solución, a diferencia de los contadores tradicionales de agua potable distribuidos por la empresa distribuidora de agua potable.

Para este prototipo se realizarán ensayos previos para escoger la tecnología más adecuada a las necesidades y problemática. Se evaluarán 3 tipos de medición:

- Medición por medio de sensor ultrasónico
- Medición por medio de sensor electromagnético
- Medición por medio de diferencia de presión

Luego de obtener los datos de velocidad se realizarán cálculos y análisis para el cálculo del caudal consumido.

Se realizarán las respectivas pruebas con fluido entre las tuberías y también con aire entre ellas para evaluar si cumplen las necesidades primordiales de la problemática.

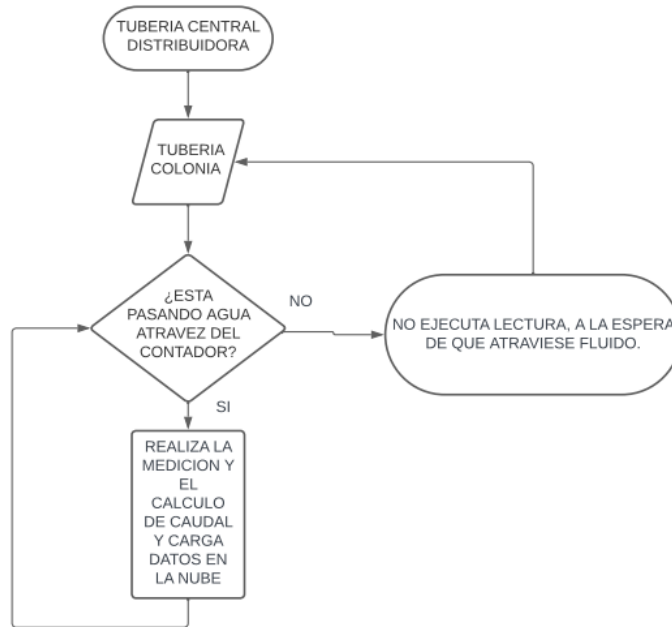
Se realizará la carga de datos por medio de algún dispositivo WIFI hacia la nube, dichos datos serán pasados a una base de datos y estarán disponibles para comparación en tiempo real

La solución estará englobando electrónica digital, base de datos y dispositivos IoT, los cuales son parte importante en los temas desarrollados en la maestría de ingeniería para la industria con especialidad en ciencias de la computación.

En la figura 1, se presenta un diagrama con el esquema de la solución, en el cual se inicia desde la tubería centralizada distribuidora, atraviesa las tuberías de la colonia, se realiza la medición por parte del contador digital, si hay fluido realiza medición, de lo contrario regresa al inicio esperando a que atravesase un fluido.

Figura 1.

Diagrama de flujo para prototipo de medición con contador digital de consumo de agua



Nota: Flujograma que muestra el proceso completo del prototipo propuesto. Elaboración propia, realizado con Lucidchart.

6. ALCANCES

6.1 Perspectiva investigativa

A continuación, se presenta los alcances del diseño del prototipo que busca la reducción del error en la medición de caudal de agua en las tuberías distribuidoras en la colonia Renacimiento Municipal de la zona 18:

- Investigar, evaluar y seleccionar la tecnología que se adecue mejor a las necesidades básicas para la medición de caudal de agua en una residencia.
- Investigar el uso correcto del sensor MPX5500DP que fungirá como sensor de presión analógica a señales digitales.
- Investigar el uso de las librerías que se usarán dentro del código del microcontrolador que facilitarán el cálculo en la medición de las señales digitales en números entendibles por el ser humano.
- Investigar y seleccionar la mejor tecnología para el transporte de datos digitales desde el sensor hacia la nube para que esté disponible la visualización del consumo.

6.2 Perspectiva técnica

Los alcances técnicos que se tomarán en cuenta para el desarrollo del prototipo son:

- La reducción del error por medición de aire en un contador.
- Cálculo equivalente de consumo en quetzales con base en caudal medido.
- Tolerancia a fallas de energía eléctrica
- Memoria de consumo de caudal y conectividad a la nube.
- Construcción de circuito electrónico que reduzca la medición por aire en las tuberías por medio de sensores de presión, ultrasónico o electromagnético.
- Creación de un código capaz de cubrir las necesidades de cálculos, toma de datos y envío de datos hacia la nube
- Diseño de tubo de Venturi por medio de software de diseño 3D
- Impresión en 3D de diseño de tubo de Venturi para conectar al sensor de presión MPX5500DP.

6.3 Perspectiva de resultados

El objetivo de la investigación es la creación de un prototipo funcional que logre cubrir las necesidades básicas de medición de caudal de agua por medio de electrónica digital e IoT. Dicho prototipo deberá de cumplir con lo siguiente:

- Medición de caudal de agua por medio de electrónica digital
- Reducción de la medición por aire en el caudal de agua comparado con un contador analógico.

- Comparación y evidencia con base en resultados de la diferencia de los sensores, tanto analógico como digital.
- Ahorro con base en consumo real del líquido a través de las tuberías y no del aire.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 Flujo de un fluido

La medición de la cantidad de volumen de un fluido que atraviesa un área en específico por unidad de tiempo es conocido como rapidez de flujo de volumen, sus unidades de medición en el sistema internacional son (m^3/s). (Young y Freedman, 2013)

Por medio de la ecuación de Bernoulli se relaciona la presión con la rapidez del fluido como se muestra en la figura 2, adicional es necesario 2 puntos de referencia para la medición del cambio de presión, dicha ecuación se representa de la siguiente forma en la ecuación 1:

Figura 2.

Ecuación de Bernoulli

$$P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Nota: Ecuación de Bernoulli. Extraído de Y. Hugh (2013). *Física Universitaria volumen 1 Décimo tercera edición.* (p.386.) Pearson.

Donde:

P1: Presión 1

P2: Presión 2

ρ : Densidad del fluido

g: Gravedad

y1: Distancia o punto de referencia 1

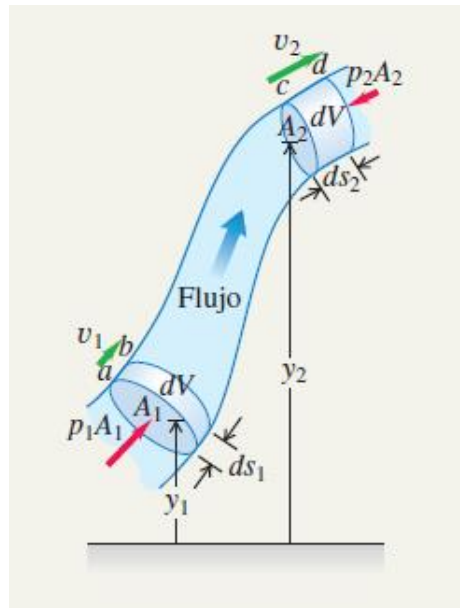
y2: Distancia o punto de referencia 2

v1: Velocidad 1 del fluido

v2: Velocidad 2 del fluido

Figura 3.

Flujo de un fluido



Nota: Deducción de la ecuación de Bernoulli. Extraída de Y. Hugh (2013). *Física Universitaria volumen 1 Décimo tercera edición.* (p.385.) Pearson.

7.1.1 Concepto de caudal

Se puede tomar con base en los conceptos anteriores que la rapidez con la que atraviesa un fluido cierto espacio transversal es conocido comúnmente como caudal, en términos matemáticos y físicos es correcto llamarlo rapidez del volumen de fluido que atraviesa un área transversal, pero para términos de mecánica de fluidos es conocido como caudal. (Quiñones y Rios, 1986)

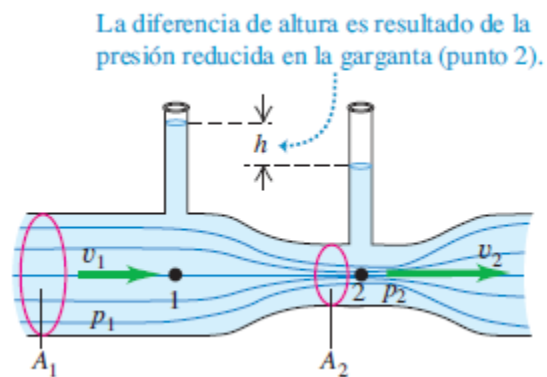
7.1.2 Medición de caudal

Para la medición de caudal existen diferentes técnicas en las cuales se utilizan de acorde a la aplicación, dicha medición se puede realizar por medio de técnicas sencillas que han sido demostradas a lo largo de la historia como lo es con el medidor de Venturi, el cual consiste en un tubo con la reducción en la cara transversal en donde atraviesa el fluido, el cambio de dicha cara transversal genera un cambio en la presión, dicho cambio de presión es reflejado en la altura del fluido. (Young y Freedman, 2009)

En la figura 3 se puede observar la forma del tubo de Venturi:

Figura 4.

Medidor de Venturi



Nota: Medidor de Venturi. Extraída de Y. Hugh (2009). *Física Universitaria Volumen 1 Decimosegunda edición.* (p.471.) Pearson.

7.1.3 Medidor de caudal ultrasónico

Dispositivo utilizado para la medición de caudal por medio de ondas, el cual utiliza como principio el uso del efecto Doppler, con un sensor que emite ondas a través de la tubería, es decir de un extremo al otro extremo tomando como distancia máxima el diámetro de la tubería y usando como medio lo que haya entre los sensores lo cual podría ser aire o bien el fluido que atraviese la tubería. (Ren, Wang, Sun, y Quan, 2022)

7.1.4 Medidor de caudal electromagnético

El sensor está basado en láminas las cuales mantienen una diferencia de potencial entre ellas, a partir de una serie de medidas en distintos puntos se encuentra un estimado de las velocidades de las partículas, está basado en el principio de la Ley de Faraday. (Cantero, 1997)

7.1.5 Medidor de caudal mecánico

Sensor basado en una hélice la cual gira al momento que atraviesa un fluido por ellas, es el más básico y económico de todos los métodos para medir caudal, sin embargo, es también el que presenta más error debido a la simplicidad en el cual las aspas se mueven si atraviesa aire a través de ellas. (Daroca, 2012)

7.2 Electrónica

La base fundamental de la electrónica se encuentra en la construcción de los componentes electrónicos los cuales están hechos a base de materiales semiconductores, aunque la tecnología avance los principios fundamentales no cambian. (Boylestad y Nashelsky, 2009)

7.2.1 Electrónica analógica

Una magnitud analógica se define como un conjunto de datos o valores continuos, esto quiere decir que puede tomar una cantidad distinta de valores, si se realiza la analogía con números en donde el valor mínimo puede ser 0 y el máximo 255, se tendría un rango de posibles valores de 256. (Floyd, 2006)

7.2.2 Electrónica digital

Las magnitudes digitales son más sencillas de comprender ya que solamente pueden tomar 2 valores discretos los cuales son 1 o 0, en la actualidad la electrónica digital está presente en todo equipo, desde una computadora hasta un reloj digital. (Floyd, 2006)

7.3 Microcontrolador

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico el cual por medio de lenguaje de programación de nivel intermedio se puede generar instrucciones para una tarea específica.

Un microcontrolador tiene como base fundamental una unidad de procesamiento la cual es conocida como CPU, módulos de memoria para almacenamiento de datos o de programa las cuales son RAM y ROM; periféricos de entrada y salida. (Barrientos, 2017)

7.4 Modulo de presión MPX5500

Es un sensor de presión con una cantidad alta de aplicaciones en la electrónica, está construido a base de silicio como un transductor piezo eléctrico el cual recibe como entrada una señal de presión y tiene una salida de señal analógica la cual es procesada por un microcontrolador. (Corapi, Acaro, Gaibor, y Villavicencio, 2021)

7.5 Internet de las cosas (IoT)

El internet de las cosas es la definición que han adoptado los dispositivos que pueden intercomunicarse entre sí a través de la red.

Cada día más dispositivos se encuentran conectados a la red, desde una computadora hasta un dispositivo móvil o incluso sensores de uso doméstico en el hogar, el uso de IoT se ha vuelto de uso cotidiano; tanto para el uso personal como para el uso industrial; para el uso industrial ha sido utilizado como parte de una necesidad en el cual la información es valiosa y es necesario concentrarla en bases de datos en la nube y que esté disponible y accesible en cualquier momento y en cualquier lugar.

El término de IoT va de la mano con conceptos y conocimientos en redes y telecomunicaciones, ya que los dispositivos deben de tener conectividad por medio de protocolos los cuales ya se encuentran estandarizados por entidades internacionales reguladoras.

Para que un dispositivo pueda conectarse a la red es necesario que se le pueda asignar una IP el cual sirva para enrutar y conectarse con otros dispositivos o bien hacia la red; Dicha IP se puede asignar manual mente o automáticamente por un dispositivo enrutador capa 3 el cual se puede apreciar en la figura 1 como capa del modelo OSI, el cual a pesar de un modelo puramente académico a nivel empresarial aún se utiliza los términos con referencia a este modelo. (Evans, 2011)

7.6 Computación en la nube

La computación en la nube se basa en permitir de manera conveniente el acceso a la red bajo demanda a ciertos recursos informáticos como lo son servidores, servicios de almacenamiento o aplicaciones en línea.

El concepto de la nube se ha ido extendiendo durante los años para obtener muchas más aplicaciones como las que se tienen hasta hoy en día donde se puede arrendar simplemente espacio de almacenamiento para datos importantes o como el alojamiento de una página web que en su defecto se crea una tienda en línea en donde todo el tiempo se encuentra activa y se pueden realizar compras en cualquier momento. (Del Vecchio, Paternina, y Miranda, 2015)

7.7 Impresión en 3D

Una impresión en 3D está basada en una tecnología de proceso aditivo donde se derrite un filamento comúnmente de plástico con diferentes propiedades, el cual a través de una pila de capas se crea diferentes objetos en 3 dimensiones, esto quiere decir que posee un grosos, altura y profundidad.

Las impresoras en 3D cuentan con diferentes limitaciones como lo son el tamaño de la plancha y la altura de impresora ya que no se puede fabricar piezas relativamente grandes, los materiales plásticos como lo son el ABS y PLA que cuentan con diferentes propiedades y precios, las ventajas es que uno mismo con cualquier programa de diseño tanto de software libre como de paga puede diseñar las piezas a imprimir. (Bobo, 2013)

8. PROPUESTA DE INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SIMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACION DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

MARCO METODOLOGICO

INTRODUCCION

1. ANTECEDENTES

2. JUSTIFICACION

3. ALCANCES

3.1 Resultados

3.2 Técnicos

3.3 Investigativos

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Flujo de un fluido

4.2 Concepto de caudal

4.3 Medición de caudal

4.4 Medidor de caudal ultrasónico

4.5 Medidor de caudal electromagnético

4.6 Medidor de caudal mecánico

4.7 Electrónica

4.8 Electrónica analógica

4.9 Electrónica digital

- 4.10 Microcontrolador
 - 4.11 Módulo de presión MPX5500
 - 4.12 Internet de las cosas (IoT)
 - 4.13 Computación en la nube
 - 4.14 Impresión en 3D
- 5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
 - 6. DISCUSION DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1 Tipo de estudio

El enfoque de la investigación será mixto debido a que se tomarán en cuenta características cuantitativas y cualitativas.

Se cuantificará el consumo de agua y se desprejará el consumo marcado por aire en las tuberías, esto para demostrar que existe un consumo fantasma en las lecturas por contadores tradicionales. Con respecto a las características cualitativas se escogerá la mejor tecnología para la medición y reducción de la medición por aire, tomando en cuenta costos de los sensores, facilidad de implementación y comodidad de instalación.

9.2 Diseño

Se cataloga una investigación experimental por el hecho que se realizara un estudio del comportamiento de las mediciones con distintos sensores como alternativas al tradicional, en este caso se pretende reducir la medición por aire en las tuberías.

Se puede considerar un requisito indispensable para un experimento como la manipulación intencional de una o más variables independientes y al efecto o causa que genera la manipulación de la variable independiente se le conoce como variable dependiente, usando esta analogía aplicada al tema de estudio

propuesto se puede confirmar que la variable independiente sería la medición de caudal con un sensor electrónico, como consecuencia se verá la reducción de la medición por aire en las tuberías y esto sería denominado como variable dependiente. (Sampieri, Fernandez, y Baptista, 2014)

9.3 Alcance

El alcance de la investigación será correlacional tomando en cuenta que los estudios correlacionales se basan en saber cómo se comporta una variable al conocer el comportamiento de otras variables vinculadas, en el estudio propuesto se toma como la variable independiente el tipo de sensor a escoger (analógico o digital) y la variable dependiente será el resultado de la medición de caudal aplicado al tema de investigación, donde se realizará una medición con un sensor electrónico digital (Sampieri, Fernandez, y Baptista, 2014).

9.4 Variables

En la tabla 1 se muestran las variables a utilizar en el trabajo de investigación.

Tabla 1.

Variables

Variables	Definición	Sub-variables	Indicadores
Sensor adecuado para la medición de caudal.	Sensor utilizado para la medición de la cantidad de volumen que atraviesa un espacio en determinado tiempo.	-Consumo por agua -Consumo por aire	-Reducción de consumo de aire en las tuberías
Carga de consumo de agua potable hacia la nube.	Forma de enviar los datos recabados de consumo de caudal hacia la nube de manera inalámbrica	Técnica de envío de la información de forma inalámbrica hacia la nube Técnica de análisis la información recolectada	-Procesamiento y cálculos de los datos adquiridos. -Claridad y facilidad de comprensión de la información obtenida y mostrada hacia el usuario final.
Volumen de agua	Cantidad de agua expresado en el sistema internacional como m ³	-Volumen de agua medido por el sensor	-Inferencia entre la medición inicial real de volumen de agua y la medición final del volumen medido por el sensor.

Nota: Tabla representativa de variables identificadas en el proceso del proyecto. Elaboración propia, realizado con Excel.

9.5 Fases del estudio

En esta sección se enlistan las fases por las cuales pasara el diseño del prototipo propuesto.

9.5.1 Fase 1: Revisión del estado del arte

Para el éxito de la investigación se consultará diferentes artículos, tesis y publicaciones científicas para validar el estado del arte y ver cómo se han solucionado problemas similares con respecto a la medición del caudal de agua en otras investigaciones, con base en material consultado se tomará una decisión con respecto al tipo de sensor con el cual se realizarán pruebas de medición en el prototipo.

9.5.2 Fase 2: Escoger la tecnología adecuada para la toma de muestras

Esta fase consiste en escoger el sensor a utilizar en el prototipo de medición, con base en la literatura, precios y accesibilidad de estos se escogerá el que marque el menor consumo por aire o que desprecie mejor ese tipo de medición o se adecue mejor a la aplicación del problema propuesto, como técnica de recolección de información se utilizara la revisión de registros luego de esto la técnica de análisis de la información será el análisis comparativo el cual se adecua a las variables cualitativas.

9.5.3 Fase 3: Construcción de prototipo

El prototipo simulará la tubería proporcionada por la empresa distribuidora de agua y el contador o medidor de consumo de agua, por medio de tuberías de PVC se realizará un maqueta donde se tendrá una bomba de agua que succionará una medida establecida de volumen de agua y se hará pasar a través de la tubería, la medición debe de coincidir con el volumen propuesto inicialmente, de esta manera se realizarán diversas pruebas incluyendo pasar aire a través de la tubería, poniendo a prueba el sistema de medición construido, se podrá validar si tomará en cuenta el aire o solamente el caudal o fluido en la medición.

9.5.4 Fase 4: Pruebas de prototipo simulando el escenario

Se realizarán pruebas con diferentes escenarios los cuales son:

- Simulación con alta presión de agua sobre las tuberías.
- Simulación de presión por aire en las tuberías.
- Simulación mixta que comprende presión por agua y por aire en las tuberías.

Dichas pruebas serán realizadas bajo condiciones ideales, en la cual se conocerá el volumen inicial de agua que atravesará las tuberías y que debería de ser medido por el sensor.

Se llevará un registro de los datos obtenidos por medio de tablas con los diferentes escenarios mencionados anteriormente, se realizarán diferentes repeticiones, las cuales servirán posteriormente para el análisis estadístico.

9.5.5 Fase 5: Interpretación de resultados

En esta fase se realizará la comparación e interpretación de los resultados obtenidos con las pruebas realizadas; para el análisis correlacional se tomará en cuenta el comportamiento de la variable independiente (presión de agua) y la variable dependiente (medición por aire), se usarán medidas de tendencia de central, medidas de dispersión, análisis gráfico, análisis comparativo, tablas de observaciones.

9.5.6 Fase 6: Elaboración de informe

En esta fase se realizará la redacción del informe del proceso ejecutado y de la metodología que se utilizó para llevar a cabo la investigación del problema propuesto, se presentarán los resultados de la investigación, se interpretarán y se presentarán las conclusiones de este.

9.6 Técnicas de recolección de información

La técnica que encaja en el estudio propuesto es la observación ya que este método se basa en la recolección de datos de forma sistemática sobre situaciones observables, esto se puede aplicar al estudio según (Sampieri, Fernandez, y Baptista, 2014)

Esta técnica se aplicará con base en distintas observaciones como se menciona en la fase de pruebas de prototipo simulando el escenario, ya que serán distintos

escenarios posibles donde se harán diferentes pruebas, se tomarán diferentes observaciones y muestras en cada una de las pruebas y serán agregadas todas las observaciones en tablas para su posterior análisis descriptivo.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

10.1 Análisis correlacional

Se utilizará el análisis correlacional realizando pruebas donde se observará el comportamiento de la variable dependiente (medición por aire en las tuberías) de acorde a la variación de la variable independiente (presión de agua).

Se tendrá un registro de las pruebas por medio de tablas comparativas como análisis de recolección de información.

10.2 Técnicas estadísticas

Con respecto a las técnicas estadísticas que se utilizarán para el análisis de la investigación, se utilizará análisis estadístico descriptivo como lo son:

- Medidas de tendencia central
- Medidas de dispersión
- Análisis grafico
- Análisis comparativo

Las medidas de tendencia central serán utilizadas como análisis ya que es una forma correcta de representar resumidamente el comportamiento de las variables como lo son la medida de caudal, adicional es importante hacer el análisis de dispersión para corroborar que tan lejos están los datos obtenidos de los datos reales, adicional el análisis gráfico servirá para ver de manera visual por medio de graficas como es el comportamiento de las medidas tomadas por el prototipo de medición; finalmente el análisis comparativo servirá para las tecnologías a evaluar para la toma de las mediciones de caudal ya que con base en sus características será elegida la adecuada al estudio de investigación del prototipo.

10.2.1 Medidas de tendencia central

Se utilizarán las medidas de tendencia central para representar de manera resumida hacia donde tienden las muestras tomadas de la variable dependiente a evaluar, en el caso aplicado al estudio de investigación serían las medidas o toma de muestra de caudal en las distintas repeticiones como se explica en la fase de pruebas de prototipo simulando el escenario.

10.2.2 Medidas de dispersión

Comúnmente se utiliza como medidas de dispersión el máximo, mínimo, varianza y desviación estándar en las variables dependientes e independientes según (Gutierrez J. , 2022); esto aplicado al estudio se utilizará para evaluar que tan lejanos están los datos obtenidos por medio de la medición de caudal del prototipo, para verificar que tanta dispersión se tiene en las muestras y que tan fiable es el prototipo de medición.

10.2.3 Análisis grafico

Se utilizarán graficas de barras para interpretar visualmente las muestras tomadas y los resultados obtenidos luego del análisis estadístico que se realizará.

10.3 Análisis comparativo

En esta sección se enlistan las técnicas de análisis comparativo a utilizar en el estudio del diseño del prototipo propuesto.

10.3.1 Tablas comparativas

Se utilizarán tablas comparativas para realizar un resumen de los resultados obtenidos, presentando las medidas de tendencia central con su dispersión y que tan lejos están de los valores reales.

10.3.1 Tablas de observaciones

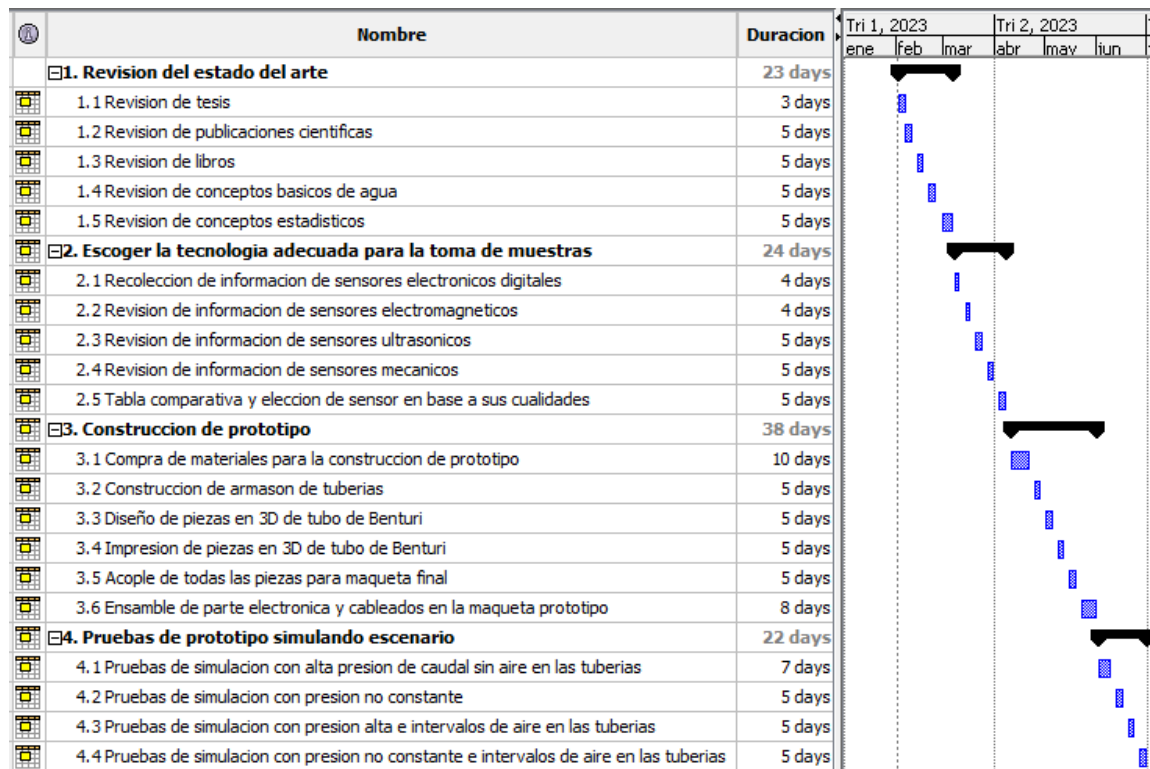
Las tablas de observaciones representarán de forma ordenada por número de intento las mediciones de caudal, dicha tabla formará parte de los resultados.

11. CRONOGRAMA

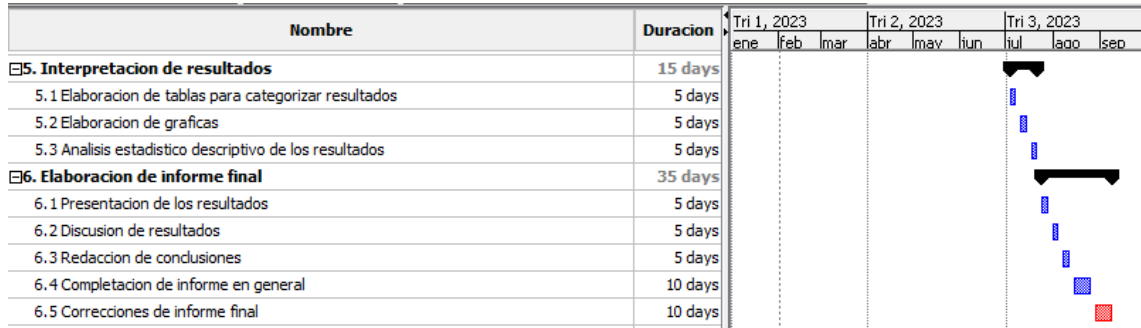
A continuación, se presenta el cronograma propuesto con el que se describe el periodo de tiempo de la investigación desde la revisión del arte hasta la elaboración del prototipo y las pruebas a realizar con él.

Figura 5.

Cronograma de actividades



Continuación de la Figura 5.



Nota: Tabla con información detallada de los tiempos de elaboración del prototipo propuesto.
Elaboración propia, realizado con Libre Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

A continuación, se detallarán los recursos necesarios para cumplir los objetivos propuestos desde la factibilidad operativa, técnica y económica.

12.1 Factibilidad operativa

Para la construcción del prototipo es necesario los siguientes recursos operativos:

- Servicio de energía eléctrica
- Servicio de internet
- Espacio físico para construcción y pruebas de prototipo
- Acceso a agua potable como prueba materia prima fundamental
- Disponibilidad de tiempo para la construcción del prototipo por parte del estudiante.
- Asesoramiento por parte del profesional experto asesor y revisor para el cumplimiento de la elaboración del informe.

Conclusión: El proyecto al ser desarrollado en una zona urbana y con base en la lista indicada anteriormente es factible operativamente la elaboración del prototipo.

12.2 Factibilidad técnica

Los recursos tecnológicos indispensables para completar la investigación en temas técnicos son:

- Acceso a *software* donde se puede incluir: sistema operativo Windows 10, navegador Chrome, paquete de Office, IDLE Arduino, Python, Raspbian.
- Acceso a *hardware* como lo es: Computadora portátil Laptop, Modulo ESP32, Raspberry Pi.
- Materiales y herramientas para la construcción del prototipo los cuales engloban: Tubería PVC, Bomba de agua, recipientes plásticos, impresión 3D tubo Venturi, mangueras delgadas transparentes, sensor de presión, sensor ultrasónico, sensor electromagnético, sensor analógico mecánico.

Conclusión: Según el listado anterior los recursos necesarios a utilizar son de fácil acceso por tal motivo es factible técnicamente la construcción del prototipo.

12.3 Factibilidad económica

Para la elaboración de la investigación es necesario contar con capital económico el cual costeará los materiales y el recurso humano necesarios para completar la investigación, en la siguiente tabla se mostrará el detalle del costo de los materiales a utilizar.

Tabla 2.*Recursos económicos*

Material	Cantidad	Precio (Q)
Tubo Pvc 1/2" metro	6	27.96
Codo 1/2"	5	11
Pegamento para Pvc 50mL	1	28.95
Bomba para agua 1/2 Hp	1	300
Cubeta mediana de 10L	2	24
Esp32	1	120
Raspeberry Pi 4 modelo B	1	999
Módulo MPX550DP	1	240
Módulo ultrasónico	1	24
Sensor de flujo por efecto HALL	1	68
Impresión 3D	1	150
Asesoría de tesis	1	2000
Mano de obra estudiante investigador	1	2000
Servicio de internet	1	150
Servicio de energía eléctrica	1	300
Agua potable (garrafón)	1	25
Total	26	6,467.91

Nota: Tabla detallada con los recursos materiales y el coste económico. Elaboración propia, realizado con Excel.

Conclusión: Se ha resumido los materiales indispensables para cumplir con la elaboración del prototipo de la investigación, el costo será financiado por el estudiante investigador, por tal motivo es factible económicamente la elaboración del prototipo.

Conclusión general: Con base en lo descrito anteriormente se puede confirmar que el proyecto es factible a nivel operativo, técnico y económico.

13. REFERENCIAS

- Barrientos, D. (2017). *Desarrollo del curso introduccion al diseño de sistemas embebidos, utilizando el controlador TM4C123GH6PM como actualizacion del laboratorio de microcontroladores*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. [Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela ...](#)
- Bautista, V., Chiliquinga, A., Garcés, R., & Rivas, D. (2022). *Artificial visión and IoT automation of remote Reading for limnimeters in hydraulic weirs*. https://www.researchgate.net/publication/366828026_Artificial_Vision_and_IoT_for_Automation_of_Remote_Reading_for_Limnimeters_in_Hydraulic_Weirs
- Bobo, R. (2013). *Diseño de una impresora 3D capaz de crear multiples objetos simultaneamente*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Lappeenranta]. Archivo digital. [Archivo Digital UPM - Archivo Digital UPM](#)
- Boylestad, R. L., & Nashelsky. (2009). *Electronica: Teoria de circuitos y dispositivos electronicos*. Mexico: Pearson educacion.

Cantero, J. (1997). *Caudalimetro electromagnetico a traves de estimacion de velocidades, aplicado a canal de laboratorio.*
https://www.researchgate.net/publication/303691352_Caudalimetro_electromagnetico_a_traves_de_estimacion_de_velocidades_aplicado_a_canal_de_laboratorio

Corapi, P., Acaro, X., Gaibor, J., & Villavicencio, W. (2021). *Sistema de monitoreo de caudal y tirante para el laboratorio piloto de hidraulica de la facultad de ciencias matematicas y fisicas.*
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/593/5932716001/5932716001.pdf>

Daroca, J. (2012). *Ejemplo de aplicación con Arduino: medida de caudal.*
https://www.academia.edu/10725113/Ejemplo_de_aplicaci%C3%B3n_con_Arduino_medida_de_caudal

Del Vecchio, J., Paternina, F., & Miranda, C. (2015). *La computacion en la nube: un modelo para el desarrollo de las empresas.*
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250642010>

Evans, D. (2011). *Internet de las cosas como la proxima evolucion de internet lo cambia todo.*
https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf

Floyd, T. (2006). *Fundamentos de sistemas digitales*. Madrid: Pearson Educacion.

Fuentes, M. (13 de junio de 2023). Simulacion de 3D. Guatemala, Guatemala: Santillana.

Gutierrez, C. (2 de Mayo de 2022). Vecinos de zona 18 denuncian que llevan dos meses sin recibir agua. *El periodico*, págs. 50-60. <https://elperiodico.com.gt/sociedad/local/2022/05/02/vecinos-de-zona-18-denuncian-que-llevan-dos-meses-sin-recibir-agua/>

Gutierrez, J. (Mayo de 2022). *Diseño de investigacion para la construccion de modelos de regreseion y series de tiempo de la concentracion de coliformes fecales en el agua de los rios de la cuenca del lago de Amatitlan*. . [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/18262>

Marroquin, A. (Noviembre de 2022). *Diseño de investigacion de una plantilla homologada para la solución SD-WAN de enlaces de datos para clientes corporativos en una red MPLS regional*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/18126>

Quiñones, F., & Rios, S. (1986). *Determinacion de caudal y tecnicas de muestreo en agua superficial.*

[https://www.recursosaguapuertorico.com/Determinacion de Caudal y Técnicas de Muestreo en Agua Superficial USGS WRI 85-89 por Ferdinand Qui ones y Sen n Guzman 1986.pdf](https://www.recursosaguapuertorico.com/Determinacion%20de%20Caudal%20y%20Tecnicas%20de%20Muestreo%20en%20Agua%20Superficial%20USGS%20WRI%2085-89%20por%20Ferdinand%20Qui%20ones%20y%20Sen%20n%20Guzman%201986.pdf)

Ren, R., Sun, X., Quan, H., & Wang, H. (2 de octubre de 2022). *Design and implementation of an ultrasonic flowmeter based on the cross-correlation method.* <https://www.mdpi.com/1863758>

Sampieri, R., Fernandez, C., & Baptista, L. (2014). *Metodologia de la investigacion.* Mexico: McGraw-Hill / Interamericana editores S.A.

Wayne, D. (2014). *Bioestadística base para el analisis de las ciencias de la salud.* Estados Unidos: Limusa Wiley.

Young, H. D., & Freedman, R. (2009). *Fisica universitaria volumen 1 Decimosegunda edicion.* Mexico: Pearson Educacion.

Young, H., & Freedman, R. (2013). *Fisica Universitaria volumen 1.* Mexico: Pearson.