

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 5 de abril de 2016

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Maria Lucia Duarte Vivas , con C.C. No. 1075266892,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado

titulado PROTOTIPO DE UN SISTEMA TARIFICADOR ELECTRONICO DE AGUA

presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de

INGENIERA ELECTRONICA ;

autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

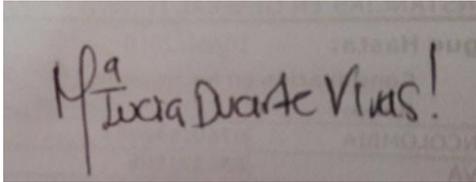
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE: MARIA LUCIA DUARTE

Firma:



	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: PROTOTIPO DE UN SISTEMA TARIFICADOR ELECTRONICO DE CONSUMO DE AGUA.

AUTOR O AUTORES: MARIA LUCIA DUARTE VIVAS.

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
DUARTE VIVAS	MARIA LUCIA

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
SALGADO PATRON	JOSE DE JESUS

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
SALGADO PATRON	JOSE DE JESUS

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERA ELECTRONICA

FACULTAD: INGENIERIA ELECTRONICA

PROGRAMA O POSGRADO:

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2016

NÚMERO DE PÁGINAS: 82

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

Diagramas___ Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___ Láminas___
 Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o
 Cuadros_X_

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: PDF o Word

MATERIAL ANEXO: Ninguno.

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*): Ninguno.

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. SENSOR DE FLUJO	FLOW SENSOR	6. _____	_____
2. SENSOR DE PRESION	PRESSURE SENSOR	7. _____	_____
3. TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS	DATA ACQUISITION	8. _____	_____
4. SERVIDOR LOCAL	LOCAL SERVER	9. _____	_____
5. APLICACIÓN MOVIL	MOBILE APPLICATION	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En la región Surcolombiana el uso de tecnologías que optimicen los sistemas de medición de los servicios públicos, es limitado y carece de inversión económica. La necesidad de implementar sistemas de medición automatizados en servicios como el agua potable surge por la falta de registros de consumo en tiempo real, en donde las lecturas se realizan de forma manual por el personal de las empresas públicas de cada ciudad. El consumo facturado a cada usuario algunas veces no refleja el consumo real, ya que existen situaciones como medidores dañados, atascados, o usuarios sin medidor, haciendo que el consumo facturado sea establecido por promedios anteriores o simplemente se asigne un consumo promedio estándar. Por tal razón en este proyecto de grado se realizó un prototipo de tarificador electrónico para la medición del consumo de agua potable en residencias domiciliarias que consta de unos sensores que flujo y presión, en donde a partir de una tarjeta de adquisición de datos se obtienen lecturas de caudal y presión los cuales son enviados y almacenados en una base de datos de un servidor local. Además, se diseñó una aplicación móvil en la que el usuario puede tener acceso a esta información en tiempo real, para tener un control de consumo y que

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3

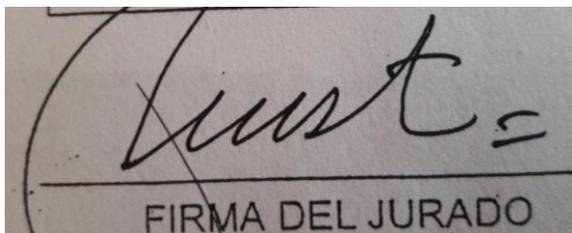
plantee sus estrategias de ahorro de este recurso.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In the Surcolombiana region the use of technologies that optimize the measurement systems of public services are limited and need economic investment. The urge to implement automated measurement devices in services like drinkable water arises for the lack of consumption records in real time. The only way to know what water quantity supplied to each home is a manual survey performed by the public enterprise personal of each city. However the surveyed consumption for each user sometimes does not show the real intake because of situations like damage, pipe leakage, or users without meters, making the surveyed consumption to be established by the mean or the average of last few months. This why this academic design, it was developed to a Prototype phase. So that the electronic calculation device contains flow and pressure sensors was connected with the acquisition of data target which is obtained the survey in flow (m³) and pressure (Psi), this information is sent to be save in a data base within a local server. Also, it was design a mobile application in which the user can get access to this information in real time, to have control of the consumption and present saving strategies of this resource.

APROBACION DE LA TESIS

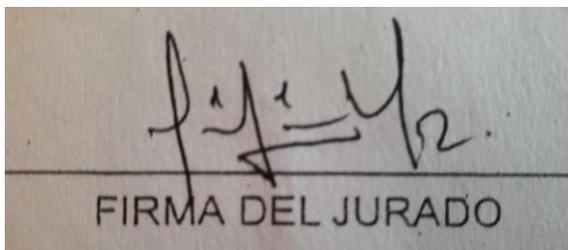
Nombre Jurado: AGUSTIN SOTO



FIRMA DEL JURADO

Firma:

Nombre Jurado: JULIAN MOLINA



FIRMA DEL JURADO

Firma:

PROTOTIPO DE UN SISTEMA TARIFICADOR ELECTRÓNICO DE CONSUMO
DE AGUA

MARIA LUCIA DUARTE VIVAS

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
NEIVA
2015

PROTOTIPO DE UN SISTEMA TARIFICADOR ELECTRÓNICO DE CONSUMO
DE AGUA

MARIA LUCIA DUARTE VIVAS

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de
Ingeniera Electrónica

Director
Ing. José de Jesús Salgado, Msc.
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
NEIVA
2015

Nota de Aceptación

Firma director de Tesis

Firma del jurado

Firma del jurado

Neiva, 2 de Febrero de 2016

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios y a mis padres por su apoyo incondicional, por el gran ejemplo de personas que son, sin ellos no podría haber realizado este proyecto de grado.

A María Angélica García y Ryan Smith, gracias por paciencia y gentileza.

Al tecnoparque nodo Neiva, por su contribución en la construcción del prototipo.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN.....	15
1. MARCO TEÓRICO.....	17
1.1. CONTADOR.....	17
1.2. TIPOS DE MEDIDORES DE AGUA	17
1.2.1 Medidores de flujo.....	17
1.2.2 Medidores de presión.....	22
1.3 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	26
1.4 RASPBERRY PI.....	27
1.5 COMUNICACIÓN WIFI	29
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	31
3. DESARROLLO DEL SISTEMA	34
3.1. ETAPA DE MEDICIÓN	34
3.1.1 Sensor de flujo YF-G1.....	35
3.1.2 Sensor Transductor G1/4” Pulgadas 5v 0-1.2 MPa	37
3.1.3 Tarjeta de adquisición de datos.....	38
3.2 ETAPA DE ALMACENAMIENTO Y COMUNICACIÓN	45
3.3 DESARROLLO APLICACIÓN MÓVIL	48
3.4 DISEÑO DE LA MAQUETA EN SOLIDWORKS	50
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	53
4.1. HARDWARE DEL SISTEMA	53
4.2 CONEXIÓN A LA DIRECCIÓN IP EN PYTHON.....	55
4.3. APLICACIÓN MÓVIL	58
4.4. PROTOTIPO	62
4.5. PRUEBAS DEL PROTOTIPO.....	64
5. CONCLUSIONES.....	71
6. RECOMENDACIONES	73

BIBLIOGRAFIA.....74
ANEXOS77

LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Tipos de medidores	18
Cuadro 2. Configuración de pines Raspberry Pi	29
Cuadro 3. Estándar IEEE 802.11	29
Cuadro 4. Esquema causa-raíz planteamiento del problema	32
Cuadro 5. Especificaciones del sensor de flujo.....	36
Cuadro 6. Especificaciones del sensor de presión	38
Cuadro 7. Parámetros Atmega 328P	39
Cuadro 8. Equivalencia entre frecuencia y caudal.....	65
Cuadro 9. Prueba 1 volumen teórico vs volumen experimental.	67
Cuadro 10. Prueba 2 volumen teórico vs volumen experimental.	67
Cuadro 11. Comparación Voltaje- Psi	68
Cuadro 12. Prueba de presión real vs presión sensor	69
Cuadro 13. Costo global del proyecto Tarificador Electrónico de Agua..	69
Cuadro 14. Descripción de los Equipos adquiridos.	70
Cuadro 15. Costo total del equipo tarificador.	70

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Medidor de chorro único.	19
Figura 2. Medidor de chorro múltiple.	19
Figura 3. Medidor pistón rotativo.	20
Figura 4. Medidor de chorro múltiple.	20
Figura 5. Medidor electromagnético	21
Figura 6. Medidor de efecto Hall	21
Figura 7. Medidor Ultrasónico	22
Figura 8. Barómetro	22
Figura 9. Manómetro de Tubo abierto	23
Figura 10. Tubo de Bourdon	23
Figura 11. Transductores Resistivos	24
Figura 12. Transductores Piezoeléctricos	24
Figura 13. Transductor Bimetálico.	25
Figura 14. Medidor McLeod.	25
Figura 15. Ejemplo tarjeta DAQ	26
Figura 16. Raspberry pi modelo B	28
Figura 17. Esquema general del sistema.	34
Figura 18. Diagrama de medición General.	35
Figura 19. Diagrama de Bloques del Sistema de Medición	35
Figura 20. Sensor de flujo de agua YF-G1.	36
Figura 21. Sensor Transductor G ¼"	37
Figura 22. Microcontrolador Atmega 328P con sus pines	39
Figura 23. Atmega 328P	39
Figura 24. Esquemático de la tarjeta de adquisición de datos.	40
Figura 25. Diseño en PCB del circuito.	41
Figura 26. Toma frontal de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.	42
Figura 27. Toma inferior de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.	42
Figura 28. Modulo Conversor de USB a serial FT232RL	43
Figura 29. Diagrama de Flujo del Sistema de medición.	44
Figura 30. Diagrama de bloque sistema de almacenamiento y comunicación.	45
Figura 31. Diagrama de Bloques etapa de almacenamiento y comunicación	46
Figura 32. Vista superior Raspberry pi	46

Figura 33.	Vista inferior Raspberry pi	46
Figura 34.	Diagrama de flujo sistema de almacenamiento y comunicación.	47
Figura 35.	Diagrama de bloques de la aplicación Móvil.	48
Figura 36.	Diagrama de estados de la aplicación Móvil.	49
Figura 37.	Diseño de la caja que contiene las tarjetas DAQ y Raspberry.	51
Figura 38.	Diseño de la residencia domiciliaria.	51
Figura 39.	Diseño final de la maqueta con el prototipo.	52
Figura 40.	Vista superior diseño final de la maqueta con el prototipo.	52
Figura 41.	Vista ampliada de los sistemas de medición análogos y digitales.	52
Figura 42.	Tarjeta de adquisición de datos para el prototipo	53
Figura 43.	Vista inferior de la tarjeta de adquisición de datos para el prototipo	53
Figura 44.	Resultados de las mediciones de caudal y presión.	54
Figura 45.	Tarjeta DAQ en la caja EcoWasser	54
Figura 46.	Raspberry en la caja del prototipo	55
Figura 47.	Ingresando a la terminal de la Raspberry	55
Figura 48.	Comando para configurar la interfaz	55
Figura 49.	Configuración de interfaz de red	56
Figura 50.	Comando para ejecutar archivo principal	56
Figura 51.	Datos obtenidos por la Raspberry	57
Figura 52.	Inicio de sesión de la aplicación móvil.	58
Figura 53.	Configuración del servidor	58
Figura 54.	Menú de fragmentos aplicación móvil.	59
Figura 55.	Interfaz consumo hoy.	59
Figura 56.	Historial diario.	60
Figura 57.	Resultados obtenidos en Historial Diario	60
Figura 58.	Gráfica del consumo diario.	61
Figura 59.	Historial mes.	61
Figura 60.	Resultados historial mes	62
Figura 61.	Gráfica del consumo mes.	62
Figura 62.	Caja EcoWasser que contiene las tarjetas	63
Figura 63.	Diseño final del prototipo con sensores, DAQ y Raspberry Pi.	63
Figura 64.	Diseño final del prototipo vista superior.	64

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Caudal Vs Frecuencia.	66
Gráfica 2. Presión Vs Voltaje.	68

LISTA DE ECUACIONES

Pág.

Ecuación 1.....	66
Ecuación 2.....	67
Ecuación 3.....	68

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Código en Arduino para el sistema de medición	77
Anexo 2. Código en Python para el sistema de almacenamiento y comunicación.	78

TÍTULO: PROTOTIPO DE UN SISTEMA TARIFICADOR ELECTRÓNICO DE CONSUMO DE AGUA

AUTOR: MARIA LUCIA DUARTE VIVAS

PALABRAS CLAVES: Sensor de flujo, sensor de presión, Tarjeta de adquisición de datos, Raspberry, servidor local, aplicación móvil, medidor inteligente.

RESUMEN

En la región Surcolombiana el uso de tecnologías que optimicen los sistemas de medición de los servicios públicos, es limitado y carece de inversión económica. La necesidad de implementar sistemas de medición automatizados en servicios como el agua potable surge por la falta de registros de consumo en tiempo real, en donde la única manera de conocer la cantidad de agua suministrada a cada residencia se hace a partir de lecturas manuales por personal de las empresas públicas de cada ciudad. El consumo facturado a cada usuario algunas veces no refleja el consumo real, puesto que existen situaciones como medidores dañados, atascados, o usuarios sin medidor, haciendo que el consumo facturado sea establecido por promedios anteriores o simplemente se asigne un consumo promedio estándar sin tener en cuenta ninguna característica del suscriptor.

A nivel mundial se implementan medidores inteligentes que incluyen las mediciones de servicios públicos como agua, gas, y electricidad, en donde los registros de consumo son enviados a una base de datos a la empresa y en donde se puede tener un monitoreo continuo por parte del usuario y la empresa prestadora del servicio. Es por esto que en este proyecto de grado se realizó un prototipo de tarificador electrónico para la medición del consumo de agua potable en residencias domiciliarias que consta de unos sensores que flujo y presión, en donde a partir de una tarjeta de adquisición de datos se obtienen lecturas de caudal (m^3) y presión (Psi, libra por pulgada cuadrada), los cuales son enviados a la Raspberry para almacenarse en una base de datos de un servidor local. Además, se diseñó una aplicación móvil en la que el usuario puede tener acceso a esta información en tiempo real, para tener un control de consumo y que plantee sus estrategias de ahorro de este recurso.

TITLE: A PROTOTYPE OF AN ELECTRONIC CALCULATION SURVEYED DEVICE FOR WATER CONSUMPTION.

AUTHOR: MARIA LUCIA DUARTE VIVAS

KEY WORDS: Flow sensor, Pressure sensor, Data acquisition Target, Raspberry, Local Server, Mobile application, Smart meter.

ABSTRACT

In the Surcolombiana region the use of technologies that optimize the measurement systems of public services are limited and need economic investment. The urge to implement automated measurement devices in services like drinkable water arises for the lack of consumption records in real time. The only way to know what water quantity supplied to each home is a manual survey performed by the public enterprise personal of each city. However the surveyed consumption for each user sometimes does not show the real intake because of situations like damage, pipe leakage, or users without meters, making the surveyed consumption to be established by the mean or the average of last few months without considering any attributes above for the utility user very difficult.

Globally there are implementations of smart meters that include the measurement of public services like water, gas and electricity. In which the consumption records are sending to the acquisition of data to the base company where it will have a continuous monitoring system by the user and the company who gives the service user. This is why this academic design, it was developed to a Prototype phase. So that the electronic calculation device contains flow and pressure sensors was connected with the acquisition of data target which is obtained the survey in flow (m^3) and pressure (Psi), this information is sent to the Raspberry Pi to be saved in a data base within a local server. Also, it was designed a mobile application in which the user can get access to this information in real time, to have control of the consumption and present saving strategies of this resource to them.

INTRODUCCIÓN

En todo tipo de vivienda tanto residencial como comercial, se hace necesario la medición del agua con el propósito de facturar el consumo mensual de este recurso tan fundamental en el vivir, por ende este debe ser lo más preciso posible para su correcta facturación. Este sistema consta de dos etapas: la medición desde la producción (macro medición) y la micromedición cuando se entrega a los usuarios.

La macro medición representa los datos obtenidos de los caudales captados, tratados, conducidos y distribuidos por parte de la empresa prestadora de este servicio. La micromedición evalúa el volumen consumido de agua de cada usuario con el fin de facturar y observar el racionamiento del consumo del agua.

Con el fin de optimizar los procesos de recolección de datos en los consumos de agua potable, se ha diseñado un sistema de lectura de medición automática o más bien conocida como (Automated meter Reading **AMR**), ésta es la tecnología de recolección automática de consumo, diagnóstico y datos de estado del contador de agua o de energía y la transferencia de estos datos a una base de datos (central) para la facturación y análisis.

Los primeros prototipos de un AMR se remontan hacia el año 1972, en donde Theodore George en Estados Unidos desarrollo un sistema de monitoreo por sensores que utilizaba la transmisión digital para seguridad, incendios, así como lectura de contadores para todos los servicios públicos desarrollando el primer sistema de lectura automatizado disponible.¹

En España desde 1992 la empresa CONTAZARA fabrica Contadores Inteligentes de agua, la ventaja de estos equipos es la capacidad de comunicación que permita acceder a toda la información estadística a través de los diferentes medios de comunicación².

En el 2014 por medio del concurso de innovación de General Electric "Ecomagination Challenge: Powering the Grid", una de las mejores iniciativas premiadas fue el Contador de agua inteligente, en Texas han desarrollado una tecnología llamada IntelliH2O para poder gestionar el mejoramiento del uso y consumo del agua , gracias a la comunicación remota aplicada al clásico contador de agua , con esto se consigue la manera eficaz de conservar el agua y no tener

¹ Sensor Monitoring Device. Paraskevavos Electronics and Communication, inc. Paraskevavos Theodoros. United states. 24751939. Fecha de solicitud: 11, Julio, 1972, Patente de investigación, 3842208, 15, Octubre, 1974.

² Contazara. Transformación inteligente de la gestión de agua [En línea]. <<http://www.contazara.es/>> [Citado el 6 de septiembre de 2015].

que realizar las lecturas manuales tan molestas para las compañías de agua y los usuarios.³

En Alemania, cerca de 4850 Contadores de agua inteligente se han instalado con el fin de hacer más eficiente el sistema de medición para la empresa y su usuario, los contadores de agua disminuyen significativamente el trabajo para el operario en las empresas hidráulicas, el tiempo y la lectura de alto consumo de los medidores por personal externo se convierte de inmediato en una cosa del pasado.⁴

En Colombia, el Gobierno tiene un papel muy importante fomentando el uso de tecnologías inteligentes como lo son los medidores inteligentes, en Medellín EPM ha avanzado con proyectos pilotos para probar la tecnología y recibir retroalimentación de los usuarios con respecto a medición inteligente integrada (agua, gas y electricidad), en otras regiones del país como lo es el valle, EMCALI, EPSA, la costa, Electricaribe han realizado proyectos más grandes ya que están cubriendo las necesidades de cada región⁵.

Sin embargo, las empresas públicas prestadoras de servicios de acueducto domiciliarios de la región, aún no han implementado este tipo de iniciativas, y sus sistemas de medición se caracterizan por la nula automatización de lecturas de consumo. Es por esto que este proyecto beneficia a los usuarios y empresas prestadores del servicio público del agua ya que tendrán un modelo o guía de implementación de un sistema de medición automática, permitiendo el acceso a un monitoreo constante del consumo de agua.

En la primera parte de este estudio, se explica el sistema de medición, y los mecanismos de recolección de la información. En la segunda se elaborará el sistema de almacenamiento y comunicación. Y posteriormente, en la tercera parte se desarrolla el proceso de la visualización de los datos aplicable en una aplicación móvil, para finalmente obtener el prototipo deseado.

³ Flórez, Javier. Contadores de agua inteligente [En línea]. <<http://www.muyinteresante.es/innovacion/articulo/ahorro-de-agua-y-energia-contadores-de-agua-inteligente>> [Citado el 8 de septiembre de 2015].

⁴ Florenberg Water Company. *Beating water lost* [En línea]. <[https://www.kamstrup.com/en-en/case-stories/water-casestories/case-florenberg-water-company-germany#/> > \[Citado el 8 de septiembre de 2015\].](https://www.kamstrup.com/en-en/case-stories/water-casestories/case-florenberg-water-company-germany#/)

⁵ Centros de estudios de economía sistémica. *Análisis del impacto de la regulación y de las estructuras productiva e industrial del sector de energía eléctrica sobre el nivel final de las tarifas y precios del servicio de energía eléctrica en Colombia*. Contrato Número 2012106. Colombia, 2012.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. CONTADOR

El contador de agua mide, registra e indica el volumen de agua en metros cúbicos que pasa a través de él.

La diferencia con un medidor es que el contador suele ser propiedad de la compañía suministradora y está verificado para asegurar la correcta medición; mientras que un medidor suele ser de un particular o de una empresa.⁶ Un contador mecánico normalmente se sitúa al inicio de la red de tubería domiciliaria para tener un seguimiento del consumo.

1.2. TIPOS DE MEDIDORES DE AGUA

Un medidor de agua es un dispositivo, que instalado en la tubería, permite conocer variables medibles que intervienen en el diseño y consumo de ésta en los domicilios residenciales. Las mediciones más importantes que se realizan para el consumo de agua potable son el flujo volumétrico, y presión de circulación, en donde los medidores encargados de registrar éstos valores se relacionan a continuación.

1.2.1 Medidores de flujo

Un medidor de agua es un dispositivo que, instalado en una tubería, permite conocer el flujo volumétrico (m^3/s) o caudal que está circulando por la misma. Los medidores tradicionales que se usan en la mayoría de hogares son de tipo mecánicos y estáticos al usuario, es decir no tienen ningún tipo de integración con las nuevas tecnologías de comunicación. A este grupo pertenecen los medidores de agua convencionales. La evolución de los métodos de medición ha desarrollado tecnologías como sensores electromagnéticos, de efecto Hall, de efecto Dópler y otras que permiten fácilmente ser integradas a sistemas de procesamiento digital y con ello ampliar el abanico de servicios de los sensores tradicionales. A este grupo pertenecen los medidores de agua electrónicos.⁷

⁶ TWENERGY. *¿Qué es un contador de agua?* [En línea]. <<http://twenergy.com/a/que-es-un-contador-de-agua-1674>> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

⁷ Chuchimarca Sarango, Edison Fabricio. *Diseño e implementación del prototipo de un sistema domótico para la medición del consumo de agua potable a través de internet y correo electrónico*. Trabajo de grado ingeniero en electrónica y telecomunicaciones. Loja, Ecuador. Universidad Nacional de Loja. (2014).

Los instrumentos encargados de medir el caudal se denominan, habitualmente, caudalímetros o medidores de caudal, constituyendo una modalidad particular los contadores, los cuales integran dispositivos adecuados para medir y justificar el volumen que ha circulado por la conducción. A grandes rasgos, los tipos de contadores que existen en el mercado son los siguientes:⁸

Cuadro 1. Tipos de medidores

Tipos de Medidores
MEDIDORES DE VELOCIDAD
Medidor de chorro único Medidor de chorro múltiple
MEDIDORES VOLUMÉTRICOS
Medidor de pistón rotativo Medidor de disco oscilante
MEDIDORES ELECTRÓNICOS
Electromagnético De efecto Hall De efecto Doppler

Fuente: Autor.

Medidores de velocidad

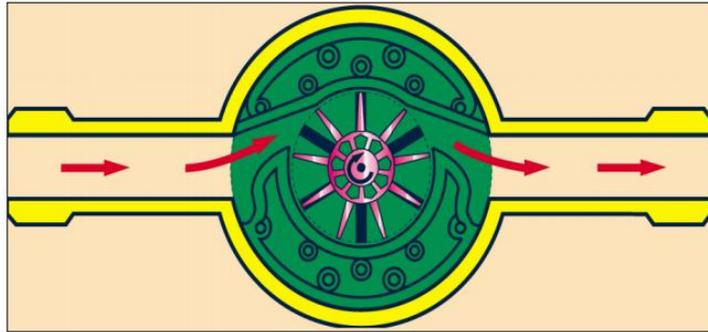
- **Medidor de chorro único:** su principio de funcionamiento es el uso de una turbina o hélice, que trabaja en la tubería a presión mientras que el agua fluye en dirección axial a ellas. La medición se logra gracias a la proporcionalidad entre el número de revoluciones de la turbina y la velocidad del agua que corre por la tubería.⁹
- **Medidor de chorro múltiple:** el mecanismo es accionado por varios chorros tangenciales de agua. Se distinguen del chorro único, en que la turbina está dentro de la cámara con varios orificios de entrada y salida, diametralmente opuesta.¹⁰

⁸ INSTITUTO DE ARAGÓN. Gestión avanzada del parque de contadores [En línea]. <<http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Organismos/InstitutoAragonesAgua/Documentos/CONTADO RES%20II.pdf>> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

⁹ Universidad Autónoma de Nuevo León. *Diseño del prototipo de transductor para la medición de consumo de agua residencial para tuberías de baja presión* [En línea]. <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080085747/1080087047_02.pdf> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

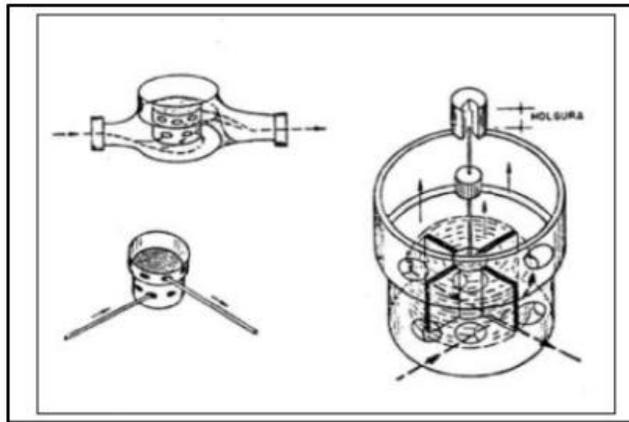
¹⁰ Florenberg Water Company. *Beating water lost* [En línea]. <[https://www.kamstrup.com/en-en/case-stories/water-casestories/case-florenberg-water-company-germany#/#/](https://www.kamstrup.com/en-en/case-stories/water-casestories/case-florenberg-water-company-germany#/)> [Citado el 8 de septiembre de 2015].

Figura 1. Medidor de chorro único.



Fuente: TOLEDO, Marco (2011).¹¹

Figura 2. Medidor de chorro múltiple.



Fuente: TOLEDO, Marco (2011).¹⁰

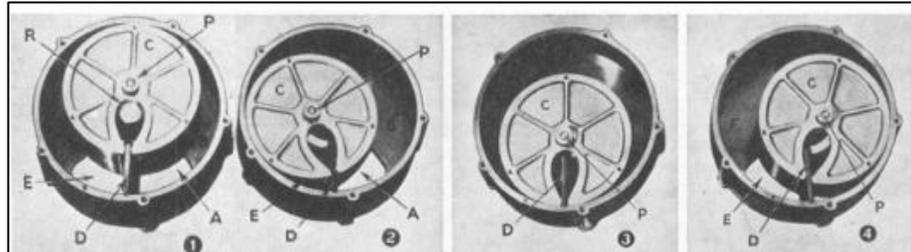
Medidores Volumétricos: su principio de funcionamiento se basa en el conteo del número de llenados y vaciados de una o dos cámaras de volumen conocido. Existen dos tecnologías, los de pistón rotativo, que suelen ser más comunes, y los de disco oscilante. La diferencia entre ellos se encuentra en el elemento móvil, los primeros poseen un pistón rotativo que gira excéntricamente mientras que el movimiento en los segundos lo realiza un disco giratorio.

- **Medidor de pistón rotativo:** el mecanismo de funcionamiento inicia cuando el agua ingresa dentro de la cámara. Debido a la mayor presión aguas arriba, el pistón gira excéntricamente cambiando el agua de cada compartimiento. De este modo, se produce el llenado por un lado y, al mismo tiempo, el vaciado por otro. Cada rotación implica el desplazamiento de un volumen de agua conocido.
- **Medidor de disco oscilante:** su proceso de funcionamiento inicia cuando el agua penetra en el espacio entre el disco y las paredes de la cámara,

¹¹ Toledo Gutiérrez, Marco A. *5 tipos de medidores de flujo de agua* [En línea]. <<http://www.aneas.com.mx/contenido/xxvpresent/Cap%205%20Tipos%20de%20Med%20ANEAS.pdf>> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

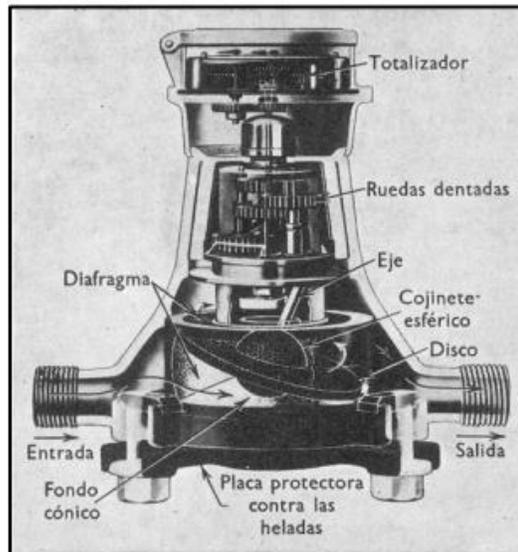
empujando al disco hacia delante imprimiéndole un movimiento de oscilación rotatoria. El movimiento del disco y del eje es similar al de un trompo en el momento en que llega al final de su impulso de giro.

Figura 3. Medidor pistón rotativo.



Fuente: GRANGER BROWN, George. 1965¹².

Figura 4. Medidor de chorro múltiple.



Fuente: GRANGER BROWN, George. 1965¹¹.

Medidores electrónicos: estos medidores contienen sensores que tienen la capacidad de convertir el flujo de agua en algún tipo de voltaje eléctrico a su salida. Este voltaje eléctrico siguiendo unas reglas específicas puede entrar a un sistema de medición electrónico y convertirlo a valores reales de medición para el usuario.⁴

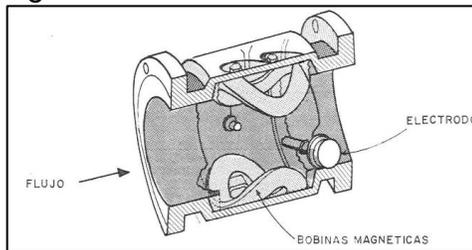
- **Medidor electromagnético:** su principio de funcionamiento está basado en la ley de Faraday, la cual expresa que: "El voltaje inducido en un conductor que se

¹² Granger Brown, George. *Operaciones básicas de la ingeniería química*. Barcelona, editorial Marín. 1965.

desplaza a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad de ese conductor”. Entonces, a medida que un líquido conductor pasa a través del campo magnético existente dentro de un medidor, se genera un voltaje. Este voltaje es directamente proporcional a la velocidad promedio del flujo y al ser el diámetro del tubo una variable conocida, el medidor magnético “calcula” el caudal que se desplaza por la tubería.

- **Medidor de efecto Hall:** este tipo de medidores contiene un sensor que funciona a modo de switch ON/OFF. Cuando un imán pasa cerca del sensor se produce un voltaje en sus terminales, si el imán se retira el voltaje cae a 0V. Este imán está integrado en el rotor. Cuando el agua fluye a través del rotor, el rotor rueda. Su velocidad cambia con diferente tasa de flujo.⁵
- **Medidores ultrasónicos o de efecto Dópler:** permiten obtener una estimación de la velocidad de circulación del agua a partir de la velocidad de propagación del sonido en un medio en movimiento. Este instrumento registra el tiempo transcurrido desde que las ondas sonoras generadas desde el punto emisor llegan al punto receptor en un medio transmisor para relacionarlo con el caudal circulante por la tubería.⁵

Figura 5. Medidor electromagnético



Fuente: TOLEDO, Marco. 2011.¹⁰

Figura 6. Medidor de efecto Hall



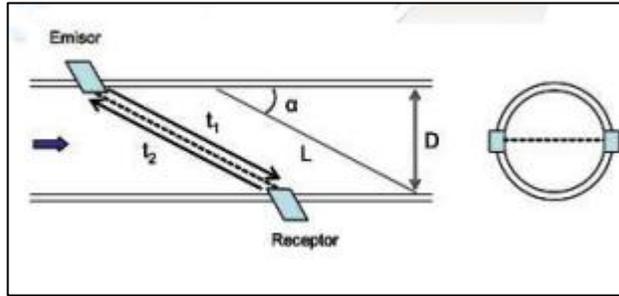
Fuente: TOLEDO, Marco. 2011.¹

⁵ Ibid pág.16.

¹⁰ Ibid pág.18.

¹ Ibid pág. 15

Figura 7. Medidor Ultrasónico



Fuente: TOLEDO, Marco. 2011.¹⁰

1.2.2 Medidores de presión

Son aquellos dispositivos que miden la fuerza física de un medio¹³, en este proyecto es un fluido (Agua). La mayoría de los medidores de presión, utilizan como un punto de referencia la presión del aire externa.

Los diferentes tipos de medidores de Presión se relacionan a continuación

- Mecánicos.
- Electromecánicos.
- Electrónicos.

Medidores Mecánicos de Presión

Miden la presión comparando con la presión realizada por un líquido de densidad y altura conocida.

Barómetro: son utilizados para medir la presión atmosférica como un indicador de los cambios climáticos en cualquier región.¹⁴

Figura 8. Barómetro



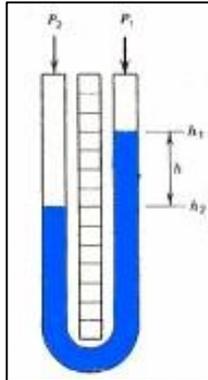
Fuente: TODO INGENIERÍA INDUSTRIAL, 2015.¹³

¹³ QUIMINET. *Los manómetros o medidores de presión* [En línea]. <<http://www.quiminet.com/articulos/los-manometros-o-medidores-de-presion-41823.htm>> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

¹⁴ Todo Ingeniería Industrial. *Medidores de presión* [En línea]. <<https://todoingenieriaindustrial.wordpress.com/metrologia-y-normalizacion/3-7-medidores-de-presion/>> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

Manómetro de Tubo abierto: el manómetro consiste en un tubo en forma de U que contiene mercurio. Cuando ambos extremos del tubo están abiertos, el mercurio busca su propio nivel ya que se ejerce una atmósfera de presión sobre cada uno de ellos. Cuando uno de los extremos se conecta a una cámara presurizada, el mercurio se eleva hasta que las presiones se igualan.⁹

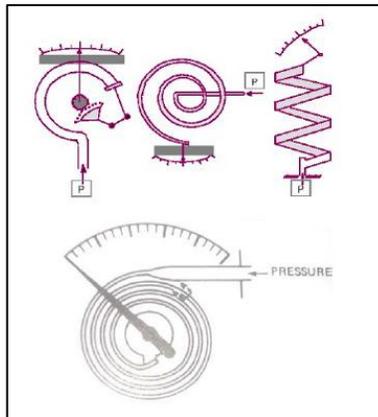
Figura 9. Manómetro de Tubo abierto



Fuente: TODO INGENIERÍA INDUSTRIAL,2015.¹³

Tubo de Bourdon: consiste en un tubo aplanado de bronce o acero curvado en arco. A medida que se aplica presión al interior del tubo, éste tiende a enderezarse, y éste movimiento se transmite a un cuadrante por intermedio de un mecanismo amplificador adecuado.

Figura 10. Tubo de Bourdon



Fuente: TODO INGENIERÍA INDUSTRIAL,2015.¹⁴

⁹ Ibid pág.18

¹³ Ibid pág.22

¹⁴ Ibid pag.22

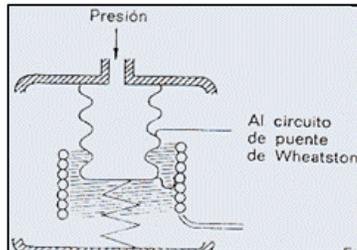
Medidores Electromecánicos de Presión

Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. El elemento mecánico consiste en un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que, a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico.¹⁵

Entre los medidores Electromecánicos de Presión se encuentran:

Transductores Resistivos: consiste en un tubo Bourdon que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión, El potenciómetro puede adoptar la forma de un solo hilo continuo o bien estar arrollado a una bobina siguiendo un valor lineal o no de resistencia.¹⁰

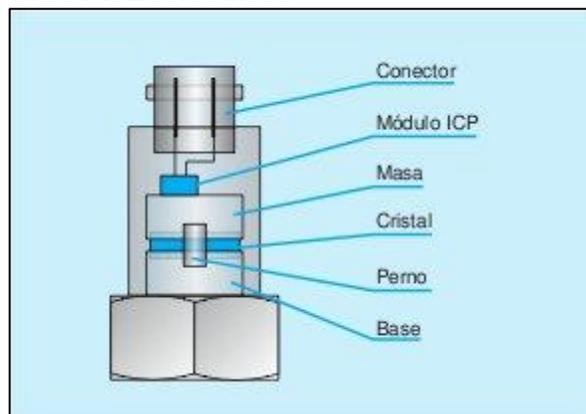
Figura 11. Transductores Resistivos



Fuente: NUÑEZ, CONTRERAS. Marco. 2015.¹⁴

Transductores Piezoeléctricos: son materiales cristalinos que al deformarse a causa de una presión genera una señal eléctrica.

Figura 12. Transductores Piezoeléctricos



Fuente: NUÑEZ, CONTRERAS. Marco. 2015.¹⁴

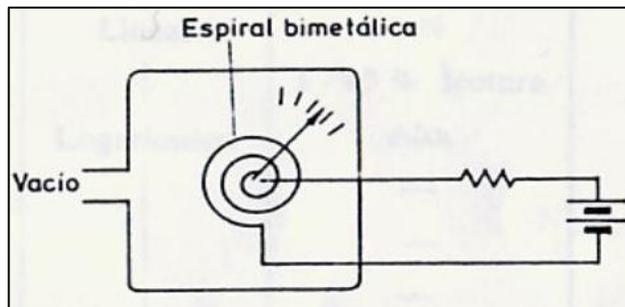
¹⁵ Nuñez Contreras, Marco. *Tipos de medidores de presión* [En línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi2.shtml#elementosc#ixzz3jbqqG6yE>> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

Medidores Electrónicos de Presión

Son transductores electrónicos de vacío que se emplean para la medida de alto vacío entre ellos se encuentran.

Transductor Bimetálico: utiliza una espiral bimetálica calentada por una fuente de tensión estabilizada. Cualquier cambio de la presión produce una deflexión de la espiral, que a su vez esta acoplada a un índice que señala en la escala el vacío. Su intervalo de medida es de $1 \cdot 10^{-3}$ mm Hg.¹⁶

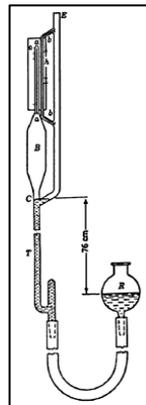
Figura 13. Transductor Bimetálico.



Fuente: VÁSQUEZ SILVA, Ricardo¹⁵.

Medidor McLeod: se utiliza como aparato primario de calibración de los restantes instrumentos. Se basa en comprimir una muestra del gas de gran volumen conocido a un volumen más pequeño y a mayor presión mediante una columna de mercurio en un tubo capilar de volumen conocido.¹⁷

Figura 14. Medidor McLeod.



Fuente: CREUS, Antonio. 2011.¹⁶

¹⁶ Vásquez Silva, Ricardo. *Medidas de presión*. Chile. Trabajo de laboratorio. Universidad de Atacama. Departamento de industria y negocios

¹⁷ Creus, Antonio. *Instrumentación industrial*. Octava edición. Barcelona: Ediciones Marcombo, 2011. ISBN: 978-84-267-1866-2.

1.3 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La adquisición de datos (DAQ) mide con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. En comparación con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PCs, ofreciendo solución de medidas potentes, flexibles y rentables.

Figura 15. Ejemplo tarjeta DAQ



Fuente: NATIONAL INSTRUMENTS.¹⁸

Este proceso de adquisición de señales, consiste en la toma de muestras de un sistema analógico o digital para generar información que pueda ser manipulada por un ordenador. Es decir, toma un conjunto de señales físicas, las convierte en tensiones eléctricas y las digitaliza de manera que puedan ser procesadas en un computador. Finalmente, el elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de adquisición de datos (DAQ).

Como características más relevantes de una tarjeta de adquisición de datos están:¹⁹

- Número de canales analógicos
- Velocidad de muestreo
- Resolución
- Rango de entrada.

¹⁸ National Instruments. *Adquisición de datos DAQ* [En línea]. < <http://www.ni.com/data-acquisition/esa/> > [Citado el 10 de septiembre de 2015].

¹⁹ Universidad de Alicante. *Sistemas de adquisición y procesamiento de datos* [En línea]. <<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19119/1/Sistemas%20de%20adquisici%C3%B3n%20y%20Procesamiento%20de%20datos.pdf>> [Citado el 11 de septiembre de 2015].

- Capacidad de temporización
- Forma de comunicarse con el computador

Número de canales analógicos: indica el número de magnitudes distintas que se pueden adquirir con la misma tarjeta. Generalmente las tarjetas disponen de un único ADC y los diferentes canales se generan por medio de un multiplexor analógico.

Velocidad de muestreo: cuanto mayor sea la velocidad de muestreo mejor representación obtendremos de la señal analógica, en cualquier caso la velocidad de muestreo debe ser siempre mayor que el doble de la frecuencia de la señal que queremos muestrear.

Resolución: depende del número de bits del ADC utilizados para representar cada muestra, a mayor número de bits del ADC la tarjeta podrá detectar variaciones menores en la señal. El número de distintos niveles en que se divide la señal a convertir viene dada por 2^n , siendo n la longitud de palabra del conversor.

Rango de entrada: indica los márgenes entre los que debe estar la señal de entrada para que pueda ser convertida. Las tarjetas de adquisición de datos suelen dar varias posibilidades que se pueden seleccionar por hardware o por software.

Capacidad de temporización: es una característica de la tarjeta de adquisición de datos que permite unas funcionalidades adicionales: puede controlar los momentos en los que se debe leer una señal, ayuda a identificar cuantas veces se ha producido un evento y genera formas de onda de acuerdo al reloj.

1.4 RASPBERRY PI

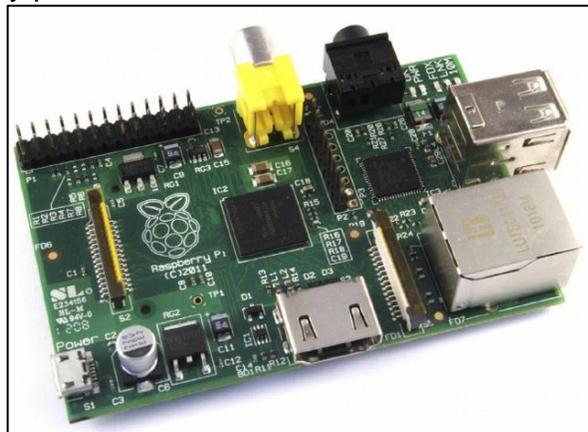
La Raspberry Pi es un sistema embebido de arquitectura ARM que es gobernada por Linux Embebido. Es un procesador multimedia en el que la mayor parte de sus componentes, incluidos la unidad central de procesamiento, la de gráficos, junto con el audio y el hardware de comunicaciones, se encuentran integrados dentro de aquel único componente oculto ubicado debajo del chip de memoria al centro de la tarjeta.

No es solo el diseño del SoC lo que hace al BCM2835 diferente del procesador de su PC o laptop. Lo que hace también diferente es que utiliza una arquitectura de conjunto de instrucciones distinta, conocida como ARM.¹⁹

Las especificaciones del hardware son.¹⁹

- **CPU:** ARM1176JZF-S a 700 MHz (familia ARM11) perteneciente a la versión 6, por lo que puede soportar RISC OS.
- **GPU:** Broadcom VideoCore IV, es capaz de reproducir vídeos en 1080p a 30fps. Hay reviews sobre esta placa que dicen que hasta puede asimilarse a unos gráficos de la primera XBOX.
- **RAM:** Tiene una versión de 256MB (modelo A) y una de 512MB (modelo B). Comparte una parte de la memoria con la GPU.
- Salidas de vídeo, HDMI y audio.
- 1/2 **Puertos USB** dependiendo el modelo.
- Puerto **Ethernet** (sólo el **modelo B**).
- Consumo energético 500 mA y 2,5W en su modelo A y 700mA y 3,5W en el modelo B.
- Alimentación de 5V por el puerto micro USB.

Figura 16. Raspberry pi modelo B



Fuente: RASPBERRY PI, Guía del usuario.¹⁹

La Raspberry Pi dispone de un puerto de expansión de entradas y salidas de propósito general conocido como GPIO (Cuadro 2) y que se accede a él a través de un conector de cabecera rotulado como P1 en la placa. Todos los pines menos los de alimentación y tierra son reconfigurables y por tanto podremos adaptarlos a nuestras necesidades, aunque por defecto una serie de pines están configurados para la conexión de las interfaces UART, I2C y SPI. Los pines GPIO 4, GPIO 17, GPIO 27, GPIO 22, GPIO18, GPIO23, GPIO 24 y GPIO 25 son los que vienen configurados por defecto para entradas y salidas digitales.²⁰

²⁰ *Raspberry pi: guía del usuario*, segunda edición. Raspberry pi foundation. Eben Upton.

Cuadro 2. Configuración de pines Raspberry Pi.

USO	PIN	PIN	USO
3.3 V	1	2	5 V
12C SDA	3	4	DNC
12C SCL	5	6	GND
GPIO4	7	8	UART TXD
DNC	9	10	UART RXD
GPIO17	11	12	GPIO18
GPIO21	13	14	DNC
GPIO22	15	16	GPIO23
DNC	17	18	GPIO24
SP10 MOSI	19	20	DNC
SP10 MISO	21	22	GPIO25
SP10SCLK	23	24	SP10CE0 N
DNC	25	26	SP10 CE1 N

Fuente: RASPBERRY PI, Guía del usuario.¹⁹

1.5 COMUNICACIÓN WIFI

Cuando se habla de WIFI se refiere a la comunicación inalámbrica mediante ondas de radio, es el tipo de comunicación más utilizada para conectar e intercambiar información entre diferentes dispositivos electrónicos como Tablet, celulares, computadores, entre otros.

Actualmente, se puede encontrar diversos tipos de WIFI basados en el estándar IEEE 802.11. Son los siguientes:

Cuadro 3. Estándar IEEE 802.11²¹

Nombre del Estándar	Descripción
802.11 A	El estándar 802.11a (llamado Wifi 5) admite un ancho de banda total máximo de 54 Mbps, cinco veces el del 802.11b y el alcance aproximado es de unos 30 metros en un espacio abierto.

²¹ KZGUNEA. *Tipos de comunicación online* [En línea]. <<http://e-forma.kzgunea.net/mod/book/view.php?id=2297>> [Citado el 11 de septiembre de 2015].

Cuadro 3. Continuación

Nombre del estándar	Descripción
802.11b	Pionero en 1999 y actualmente el más extendido. Opera en la banda de los 2.4 GHz. El estándar 802.11b ofrece un rendimiento total máximo de 11 Mbps y tiene un alcance de hasta 200 metros en un espacio abierto.
802.11g	Estrenado en 2003. Opera en la banda de los 2.4 GHz. El estándar 802.11g ofrece un ancho de banda elevado (con un rendimiento total máximo de 54 Mbps). El alcance aproximado es de unos 100-150 metros en un espacio abierto.
802.11n	El estándar 802.11n es capaz de alcanzar 108 Mbps de velocidad y tiene un alcance de hasta 250 metros en exteriores.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

TITULO: *Prototipo de un sistema tarifador electrónico de consumo de agua.*

Un sistema de acueducto con medición son aquellos donde los usuarios disponen de elementos de medición de consumos, tales como micromedidores (contadores), normalmente instalados en las conexiones o acometidas domiciliarias, en donde se determine que se pueda medir la cantidad de agua que se está suministrando a la comunidad.²²

En Colombia, la micromedición es llevada a cabo con la instalación y lectura manual, a cada usuario, de los equipos de medición. Ésta información proporciona una evaluación permanente de la eficiencia y la calidad en el suministro de agua potable. Un proceso óptimo de medición permite disminuir las pérdidas comerciales del Índice de agua no contabilizada (IANC).

Este índice se refiere a la diferencia entre el agua producida y el agua facturada en un sistema de abastecimiento de agua potable, es por esto, que uno de los factores que contribuye al aumento del IANC es el error del registro o lectura de los equipos de medición de agua potable. En el país este índice de agua no contabilizada de las empresas prestadoras de servicio de acueducto se encuentra entre un 40% y 45%, reflejando la urgente necesidad de implementar mecanismos de lectura de medición automática, que disminuya este índice, puesto que la Comisión de regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), acepta el 30% como porcentaje máximo de pérdidas y el porcentaje que se pierda por encima debe ser asumido por la empresa.²³

En la región Surcolombiana, no se han implementado mecanismos electrónicos de medición eficientes que permitan visualizar el consumo diario del agua, además estos medidores no cuentan con ningún tipo de alarma que indique al usuario de la no disponibilidad de este servicio en su domicilio, tampoco existe ninguna notificación de ahorro por reducir el uso este.

El consumo facturado a cada usuario algunas veces no refleja el consumo real, puesto que existen situaciones como medidores dañados, trabados, o usuarios sin medidor, haciendo que el consumo facturado sea establecido por promedios anteriores o simplemente se asigne un consumo promedio estándar sin tener en cuenta ninguna característica del suscriptor.

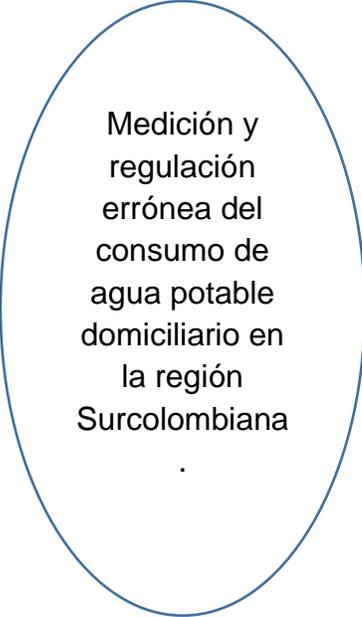
²² Escobar, José Antonio. *Costos y tarifas: Municipios menores y zonas rurales. Bogotá*, 2005. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. ISBN: 958-95606-8-7.

²³ Bastidas Delgado, María Cristina. *Caracterización y estimación de consumos de agua de usuarios residenciales. Caso de estudio: Bogotá*. Trabajo de grado Ingeniera Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes. (2009).

Sumado a esto, en la ciudad de Neiva, la recolección de mediciones se realiza manualmente por un empleado de las entidades encargadas de prestar este servicio público, aportando nuevas dificultades en cuanto al tiempo de medida, valores erróneos en las lecturas, costos, entre otros.

Con base en lo enunciado, se realiza un esquema que permita observar los hechos mas reelevantes que se observan y sus posibles explicaciones o hipotesis con respecto a la problemática a investigar:

Cuadro 4. Esquema causa-raíz planteamiento del problema

SITUACION PROBLEMÁTICA		
Lista preliminar de elementos		
Causas	Fenómeno	Consecuencias
<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de medición desactualizados. • Poca inversión en proyectos pilotos de implementación de micromedidores electronicos. • Manipulación de los contadores de medición del consumo de agua por parte de los usuarios. • Uso de personal para la toma de consumo de agua mensual. 	 <p>Medición y regulación errónea del consumo de agua potable domiciliario en la región Surcolombiana</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de agua no contabilizada de las empresas prestadoras de servicio de acueducto alto. (40%-45%). • Consumo real de agua potable difiere del consumo facturado. • Dificultad en la regulación del consumo de agua potable por parte del usuario y de la empresa prestadora del servicio. • Costos mensuales de medición manual. • Lecturas erroneas de medición.

Fuente: Autor.

Para encontrar una solución al fenómeno identificado, este proyecto tiene como objetivo crear un “Prototipo de un sistema tarificador Electrónico de consumo de

agua”, el cual va dirigido a los consumidores y empresas prestadoras de este servicio público.

Este prototipo consta de un dispositivo que mide a partir de un sensor de flujo tipo hall el consumo de agua, y un sensor de presión la presión del sistema, generando una serie de datos que son enviados y almacenados por un servidor embebido con su correspondiente base de datos. Ésta información se transmitirá al usuario a través de una aplicación móvil para observar las variaciones del consumo de agua permitiendo conocer el consumo diario, la tarifa de consumo y el ahorro realizado por el usuario.

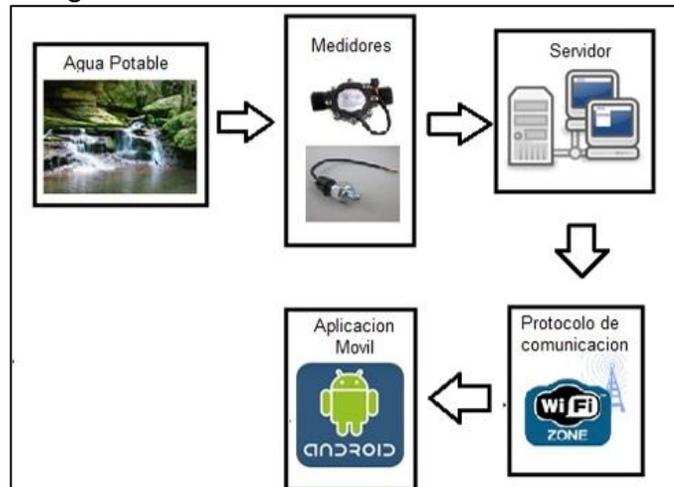
3. DESARROLLO DEL SISTEMA

En la representación del sistema de medición, recolección y visualización del consumo de agua, se definieron un conjunto de etapas que fueron estudiadas y analizadas a lo largo de este proyecto de grado, las cuales, permitieron una mejor comprensión del funcionamiento del mismo.

Este sistema hace uso de un sensor de efecto hall tipo turbina que entrega un tren de pulsos que son registrados por la tarjeta de adquisición de datos quien es la encargada de contar estos pulsos y aplicar una fórmula específica para obtener el caudal de agua que pasa por ese tramo de la tubería. De igual manera se encuentra instalado un sensor de presión tipo Piezo Eléctrico. La Raspberry Pi se encarga de almacenar los datos que son enviados desde la tarjeta de adquisición de datos y por medio de una interfaz inalámbrica (WIFI), transmite la información a una nube en la que el usuario puede tener acceso desde su teléfono móvil por medio de una aplicación.

A continuación se realizó un diagrama de bloques que representa el esquema general del desarrollo de este proyecto de grado:

Figura 17. Esquema general del sistema.

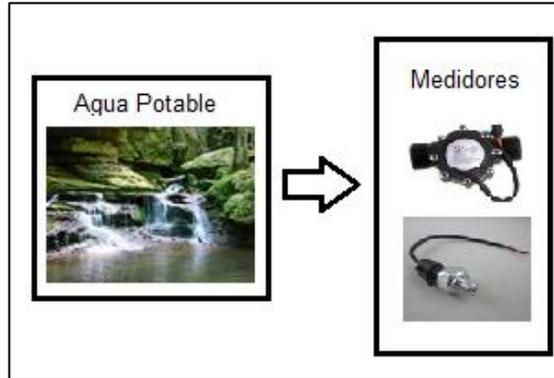


Fuente: Autor.

3.1. ETAPA DE MEDICIÓN

Esta primera etapa del sistema, se encarga de la medición y recolección de la información de consumo de agua a través de una tubería, en este caso, velocidad y presión de flujo.

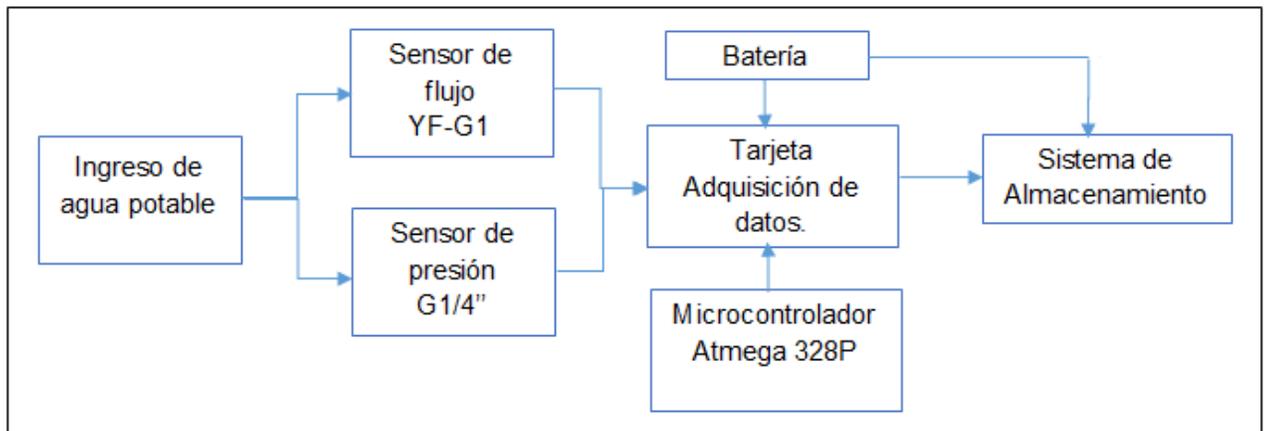
Figura 18. Diagrama de medición General.



Fuente: Autor

En primer lugar, se explicará el diagrama de bloque de la etapa de medición:

Figura 19. Diagrama de Bloques del Sistema de Medición



Fuente: Autor.

Hardware: A partir de la Figura 19., se hará una descripción detallada de cada uno de los elementos que comprenden la etapa de medición del sistema, como los sensores de flujo y presión, la tarjeta de adquisición de datos, el microcontrolador Atmega 328P y el conversor serial USB.

3.1.1 Sensor de flujo YF-G1

El sensor de flujo utilizado en el prototipo es fabricado por la empresa SEED STUDIO, modelo YF-G1 y usa el efecto Hall para su funcionamiento, es decir cuando un imán pasa cerca del sensor se produce un voltaje en sus terminales, si el imán se retira el voltaje cae a 0V. Este imán está integrado en el rotor. Cuando el agua fluye a través del rotor, el rotor rueda. Su velocidad cambia con diferente tasa de flujo.

Figura 20. Sensor de flujo de agua YF-G1.



Fuente: ELECTRONILAB. 2015.²⁴

Según Empresas Publicas de Neiva (EPN), en las normas generales de diseño, para usuarios residenciales, el diámetro de las acometidas será de **1/2"**, Para la instalación del medidor, se deben llenar ciertos requisitos:

- Los micromedidores serán de clase B, tipo volumétrico y/o velocidad.
- La Empresa del Servicio Público (ESP) venderá e instalara el medidor de agua a los usuarios, a los cuales se les otorgará una garantía de tres (3) años el cual siempre será suministrado por la empresa.
- La Empresa del Servicio Público (ESP), establece la reposición o revisión del medidor cuando tenga 3.000 m³ de medición.

Este sensor cumple con todas las características dichas por EPN, ya que es un micromedidor de clase B, tipo velocidad, el diámetro de este sensor es de 1", y se pueden encontrar reducciones de diámetros para realizar los acoples a las tuberías domiciliarias, tiene una garantía mayor de 3 años debido a las máximas y mínimas temperaturas que puede soportar este medidor, y no requiere de una reposición cuando tenga más de 3. 000 m³ de medición. A continuación en el Cuadro 5 se muestra las especificaciones técnicas del sensor:

Cuadro 5. Especificaciones del sensor de flujo.

SENSOR DE FLUJO YF-G1		
Presión de agua	<1.75 Mpa	Mínima temperatura -20 ⁰ C
Rango de voltaje	DC 5-24 V	Máxima Temperatura 85 ⁰ C
Resistencia a la insulación	>100 mohm	
Precisión	1-60 L/min ± 3%	

²⁴ Electronilab. Sensor de flujo de agua YF-G1. [En línea]. <<http://electronilab.co/tienda/sensor-de-flujo-de-agua-g12-1-30lmin/>> [Citado el 3 de octubre de 2015].

Cuadro 5. Continuación

Numero de pulso de flujo	4.8*Q
Dimensiones	11.4 cm x 7.1 cm x 4.9 cm
Capacidad de carga	10 mA (DC 5V)
Temperatura de operación	≤ 80 °C
Voltaje mínimo requerido	4.5 V

Fuente: ELECTRONILAB. 2015.²³

El caudal instantáneo puede calcularse por la siguiente formula:

$$\text{Pulsos} = 4.8 * Q$$

Donde Q es igual al flujo en litros por minuto con una precisión de +/- 3%. El sensor de flujo de agua tiene tres pines: VCC, GND y DATA.

3.1.2 Sensor Transductor G1/4" Pulgadas 5v 0-1.2 MPa

Cuando se realiza un seguimiento al consumo diario de agua en tiempo real, intervienen diversos factores como el flujo volumétrico (Contemplado anteriormente) y la presión de flujo a lo largo de la tubería. Este segundo factor juega un papel fundamental para determinar si existen fugas o alguna falla en la prestación de este servicio público.

Figura 21. Sensor Transductor G 1/4"



Fuente: EBAY. 2015.²⁵

Según Empresas Publicas de Neiva (EPN), en las normas generales de diseño, la presión en la red no podrá ser inferior a 15 mca (0.147 MPa), ni superior a 45 mca

²⁵ Ebay. *Pressure Transducer Sensor Oil Fuel Diesel Gas Water Air*. [En línea]. <<http://www.ebay.com/itm/G1-4-inch-5V-0-1-2-MPa-Pressure-Transducer-Sensor-Oil-Fuel-Diesel-Gas-Water-Air-/321801631422>> [Citado el 3 de octubre de 2015].

(0.441 MPa). Es por esto que este sensor cumple con los parámetros dados por EPN, ya que su rango de operación oscila de 0 a 1.2 MPa, además de su robustez, garantiza un periodo de uso mayor.

El sensor utilizado en este prototipo es un Sensor Transductor G1/4", cuyas especificaciones se relacionan a continuación:

Cuadro 6. Especificaciones del sensor de presión

Especificaciones	Valores	Características
Tensión de trabajo	5V (DC)	Material del sensor: Aleación de acero al carbono
Voltaje de salida	0.5 a 4.5 V (DC)	Ciclo de vida: 500 000 Pcs
Corriente de trabajo	≤10 mA	Aplicación: Medición de gas y
Rango de Presión de trabajo	0-1,2 MPa	Líquido
Máxima Presión	2,4 MPa	Fácil Eliminación
Punto de presión de Destrucción	3.0 MPa	Conexión de acero al carbono
Rango de Temperatura	0 a 85 °C	A prueba de agua
Error de Medición	± 1,5% FSO	Cables: Rojo (Vcc), negro (Gnd)
Error de medición de Temperatura	± 3,5% FSO	
Tiempo de Respuesta	≤ 2,0 ms	

Fuente: EBAY. 2015.²⁴

3.1.3 Tarjeta de adquisición de datos

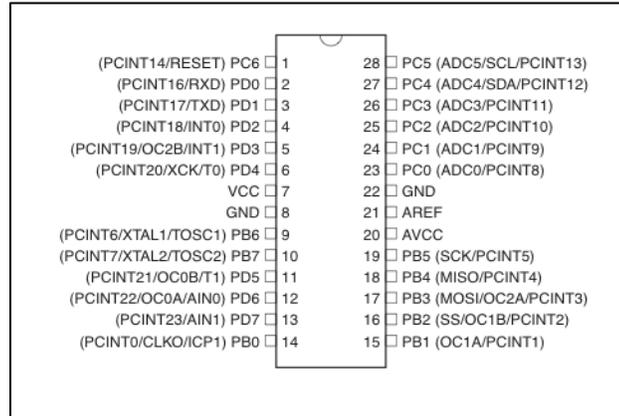
En esta sección de la etapa de sistema de medición, se construyó una tarjeta encargada de recibir los datos generados por los sensores de Flujo y Presión. Además, permite enviar esta información a través de comunicación serial a la Raspberry Pi.

En esta tarjeta, intervienen dos componentes importantes para su funcionamiento como el microcontrolador y el Modulo conversor serial-USB.

Microcontrolador Atmega 328P

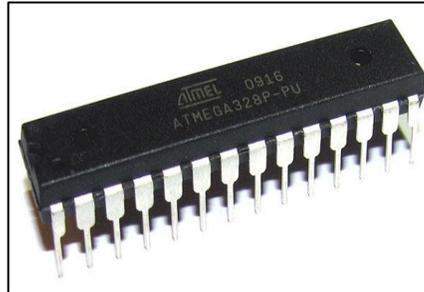
Este microcontrolador Atmega 328P, es el encargado de recibir los datos que son medidos por los sensores de flujo y presión, al igual que contiene el código con el cual se efectúa la conversión de los datos obtenidos (voltajes) a litros/hora y Psi correspondientemente.

Figura 22. Microcontrolador Atmega 328P con sus pines



Fuente: Mikrea. Microcontroladores y electrónica. 2015.²⁶

Figura 23. Atmega 328P



Fuente: Mikrea. Microcontroladores y electrónica. 2015.²⁵

Se escogió el microcontrolador Atmega 328P, ya que el lenguaje de programación utilizado en este código es arduino por su facilidad de uso y economía lo hacen más asertivo para implementar. Los parámetros para este son:

Cuadro 7. Parámetros Atmega 328P

Parámetros	Valores
Flash	32 Kbytes
RAM	2 Kbytes
Cantidad de Pines	28
Frecuencia Máxima de Operación	20 MHz
CPU	8-bit AVR
Número de Canales variables	16
Pines Máximos de E/S	26
Interrupciones externas	24

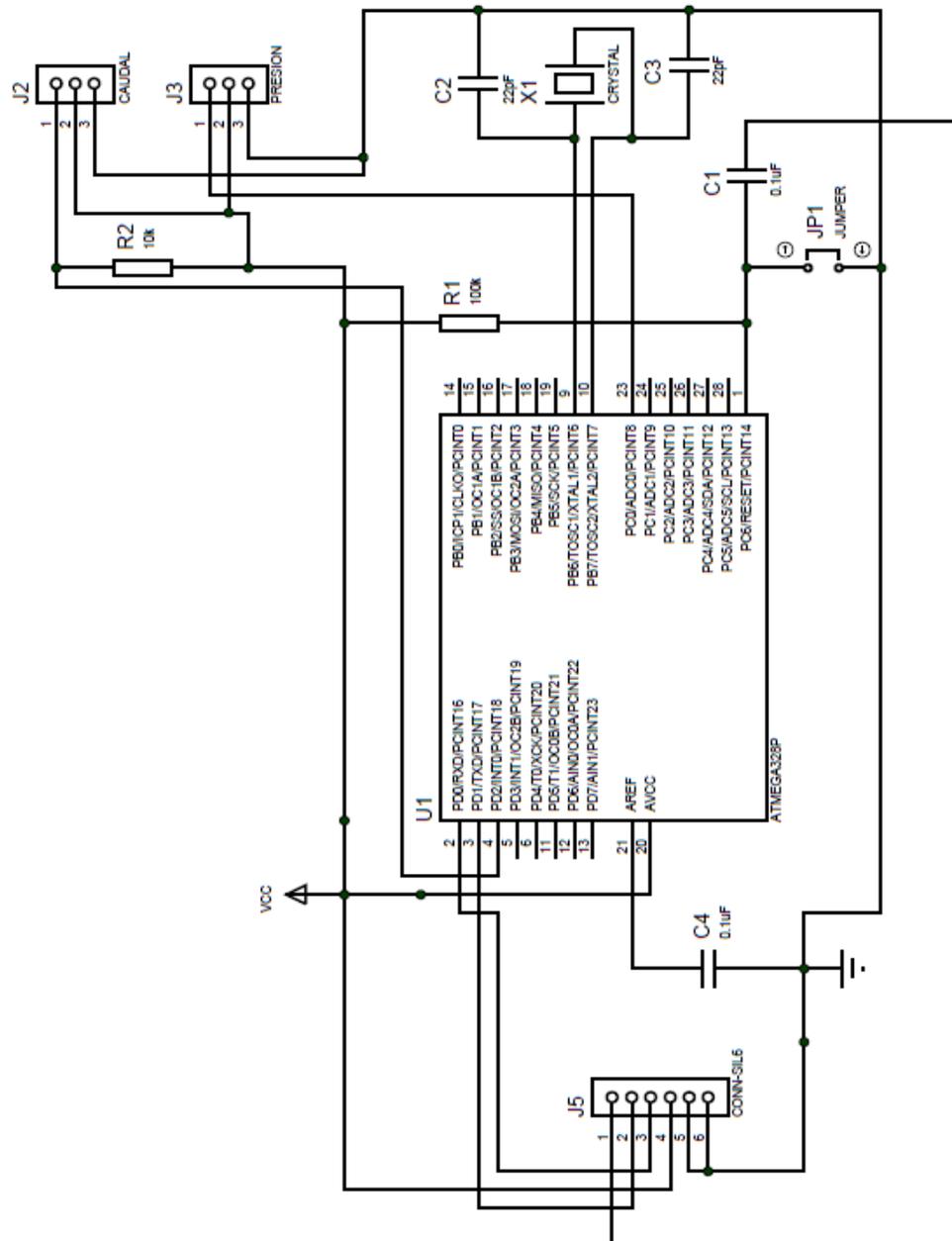
Fuente: Mikrea. Microcontroladores y electrónica. 2015.²⁵

²⁶ Mikroe. *Microcontroladores y electrónica* [En línea]. <http://www.academia.edu/8676608/Especificaciones_EI_Atmega328_AVR> [Citado el 11 de septiembre de 2015].

Diseño de la tarjeta de adquisición de datos

En esta sección se explicará que materiales se utilizaron para la realización de la tarjeta de adquisición de datos. En el diseño esquemático que se mostrará a continuación, se realizó una configuración que permite la comunicación vía USB a la Raspberry. Además, se indican las conexiones de los sensores a las entradas del microcontrolador.

Figura 24. Esquemático de la tarjeta de adquisición de datos.



Fuente: Elaborado en ISIS Profesional de Labcenter Electronics © reléase 7.10 SP0.

Según la hoja de datos del Atmega 328P, en los pines del oscilador, se encuentra conectado un cristal de cuarzo para estabilizar la frecuencia del oscilador incorporado en el microcontrolador, como el Atmega 328P es un microcontrolador tipo TTL, su voltaje de alimentación será de 5V DC.

En los pines de entrada digital y analógica de este, se conectaron los sensores de flujo y presión.

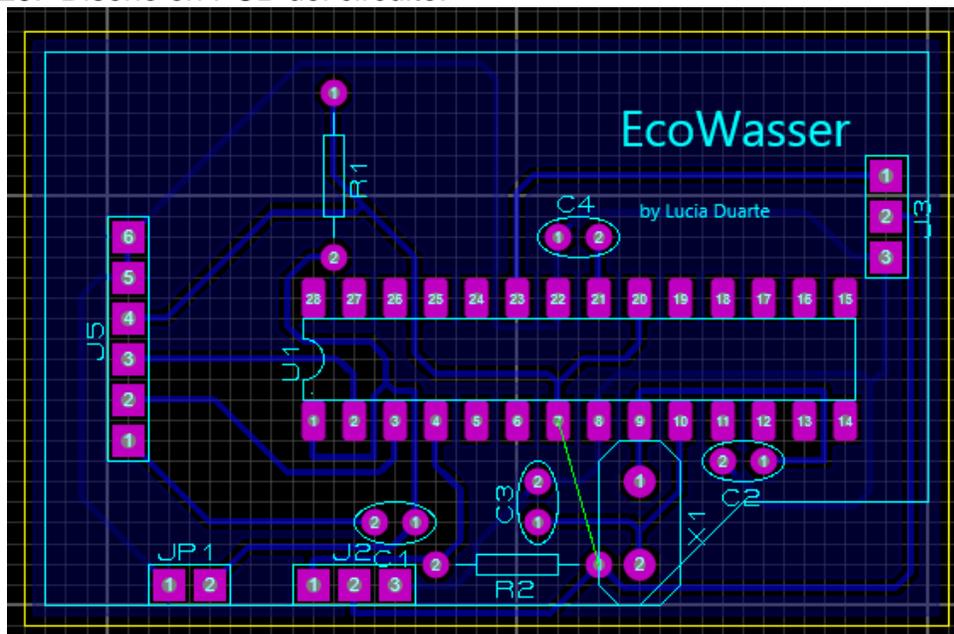
El cálculo de la resistencia de 10K corresponde a:

$$R_{10K} = \frac{5V}{5 \text{ mA}} = 10K\Omega$$

Donde los 5 mA es la corriente promedio que puede soportar ambos sensores según sus características y 5 Voltios al voltaje de alimentación brindado. El valor de la resistencia pull-up se determinó en el rango de 10 a 100KΩ, con el fin de proporcionar baja impedancia de salida sin usar consumo de energía, por tal razón, se escogió una resistencia de 100K.

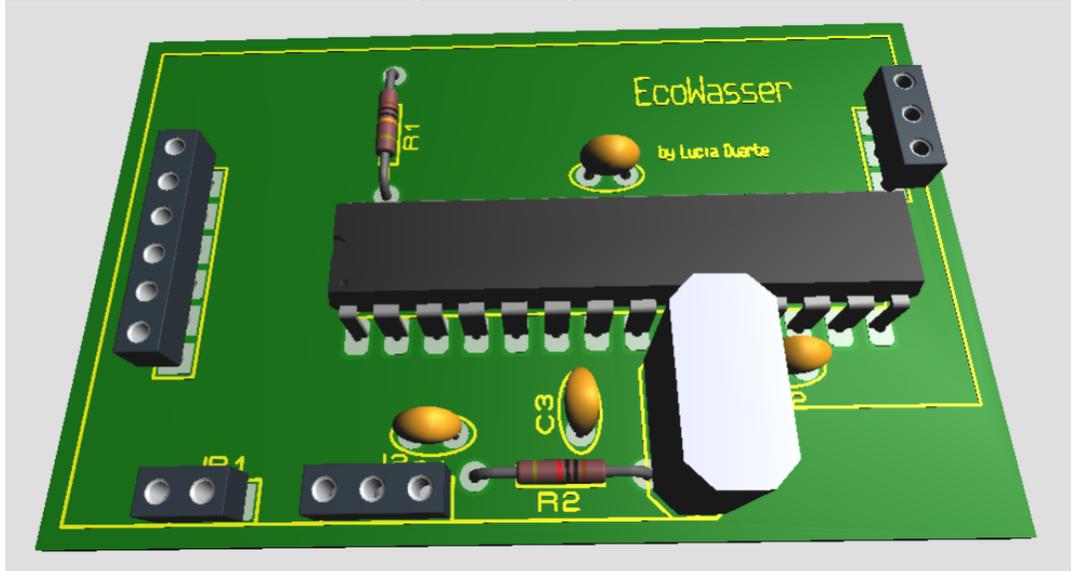
Igualmente, se obtiene el diseño en PCB del circuito y su respectiva visualización en 3D utilizando el programa de diseño y simulación Proteus.

Figura 25. Diseño en PCB del circuito.



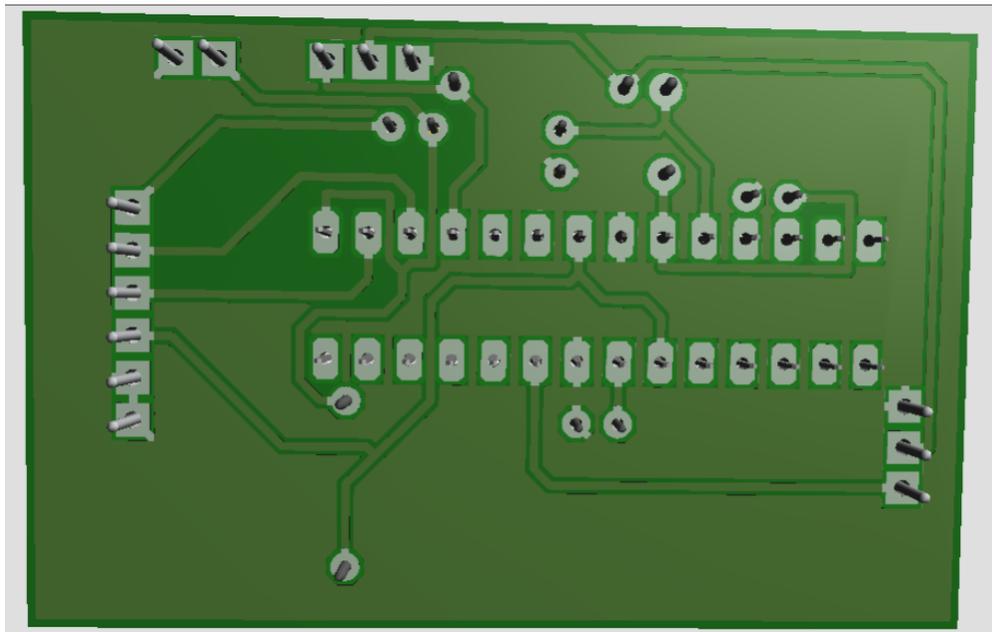
Fuente: Autor.

Figura 26. Toma frontal de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.



Fuente: Autor.

Figura 27. Toma inferior de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.



Fuente: Autor.

Módulo conversor serial-USB

Para realizar la comunicación serial entre la tarjeta y la Raspberry Pi, se implementa un módulo conversor serial-USB FT232 ya que el microcontrolador Atmega 328P no tolera este tipo de comunicación. Así mismo, el dispositivo puede

funcionar en el rango de 5 a 3.3 V DC, como el circuito del diseño funciona a 5 V DC, se trabajó con esta opción.

Además de realizar la comunicación serial entre la tarjeta de adquisición de datos y la Raspberry Pi, este dispositivo suministra energía a la tarjeta de adquisición de datos, sensores y Raspberry Pi, de tal manera que el suministro de este sea confiable y seguro.

Figura 28. Modulo Conversor de USB a serial FT232RL



Fuente: Electrónicos, Caldas.²⁷

Este módulo es un convertidor de USB a UART, su función es generar un puerto virtual serial SSP, usa un solo chip para hacer la transmisión serial de datos.²⁶

Sus características son:

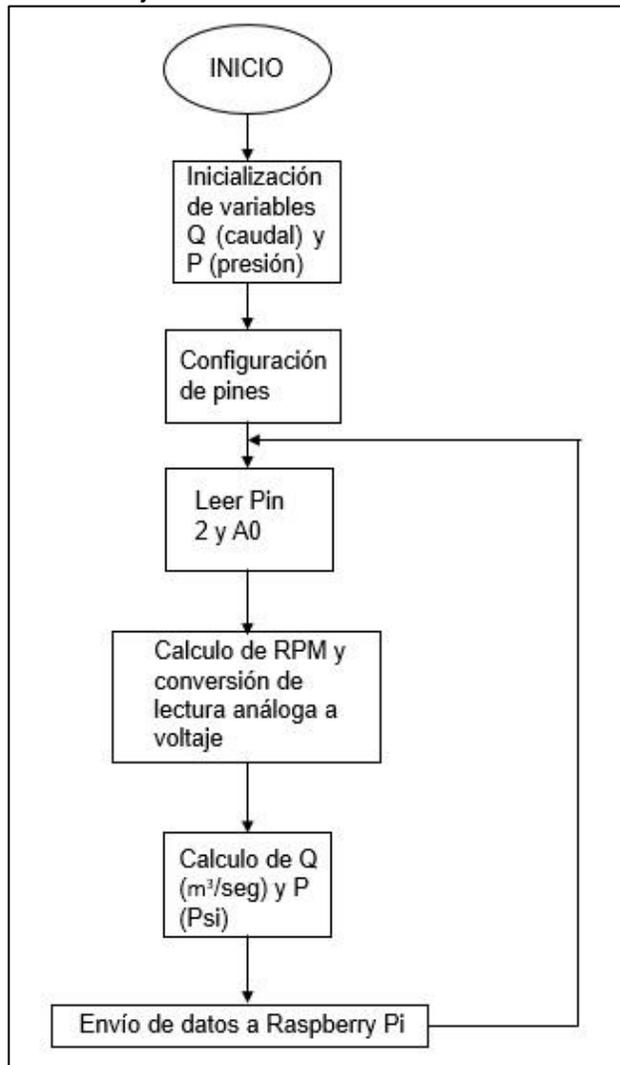
- Conversión de USB a interface de transmisión asíncrona serial de datos UART
- Tarjeta con FT232RL de FTDI, conector USB mini-B, fusible auto reseteable, leds indicadores, pines de conexión y componentes externos necesarios
- Acceso a señales GND, CTS, VCC, TX, RX y DTR
- Orden de los pines de acuerdo al cable FTDI con marcas de GRN (Green) y BLK (Black) en los extremos que se corresponden con los colores del cable
- El protocolo es manejado por entero en el chip, no se requiere programación de firmware específica para USB
- EEPROM de 1024 bits para almacenar descriptores del dispositivo USB
- Bufer de recepción de 128 Bytes y de transmisión de 256 bytes
- Drivers Direct (D2XX) y Virtual Com Port (VCP) gratuitos, eliminan la necesidad de desarrollar drivers para la aplicación en la mayoría de los casos
- LED's indicadores de las señales de transmisión y recepción
- La interface UART soporta 7 u 8 bits de datos, 1 ó 2 bits de parada, y paridad par/impar/marca/espacio/sin paridad

²⁷ Electrónicos Caldas. *Conversor USB a serial con FT232RL* [En línea]. <<http://www.electronicoscaldas.com/drivers-comunicaciones-linea-bus/518-conversor-usb-a-uart-serial-ft232rl.html>> [Citado el 11 de septiembre de 2015].

- Pre programado con número serial USB único²⁸

Programación: Una vez realizada la tarjeta de adquisición de datos, a través de comunicación serial se realiza un proceso interno, por medio del software arduino cuya tarea determinada es obtener los datos de presión y de caudal. Adicionalmente, se explica en un diagrama de flujo para mayor comprensión.

Figura 29. Diagrama de Flujo del Sistema de medición.



Fuente: Autor

²⁸ Electrónicos Caldas. *Convertor USB a serial con FT232RL* [En línea]. <<http://www.electronicoscaldas.com/drivers-comunicaciones-linea-bus/518-convertor-usb-a-uart-serial-ft232rl.html>> [Citado el 11 de septiembre de 2015].

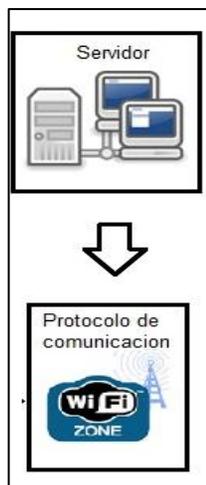
A partir del diagrama de flujo, se establecieron los siguientes procedimientos lógicos para desarrollar las líneas de código:

- Inicialización de las variables caudal (Q) y presión (P)
- Configuración de pin de entrada análoga (A0) y digital (2).
- Calculo de RPM para el sensor de flujo, por medio de la función NbTopsFan++ es la función que mide el flanco ascendente y descendente de la señal para sensores de efecto hall, realiza el conteo de las rpm dadas por el sensor.
- Conversión de la lectura analógica (0 -1023) a un voltaje (0-5V).
- Calculo del caudal en m^3/seg .
- Calculo de la presión en Psi.
- Envío de datos a la Raspberry Pi.

3.2 ETAPA DE ALMACENAMIENTO Y COMUNICACIÓN

Esta segunda etapa del sistema, se encarga del almacenamiento de los datos medidos por los diferentes sensores en un servidor que se encuentra en la red con el fin de que posteriormente un dispositivo móvil pueda tener acceso a esa información mediante la comunicación Wifi. Ver Figura 30.

Figura 30. Diagrama de bloque sistema de almacenamiento y comunicación.



Fuente: Autor.

En primer lugar, se explicará el diagrama de bloque de la etapa de almacenamiento y comunicación:

Figura 31. Diagrama de Bloques etapa de almacenamiento y comunicación



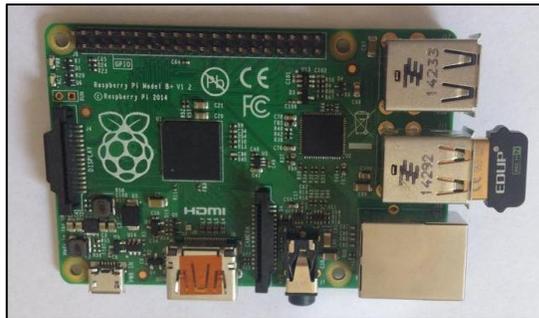
Fuente: Autor.

Hardware: a partir de la Figura 31, se hará una descripción de la tarjeta Raspberry que hace parte de la etapa de almacenamiento y comunicación, y el papel que cumple en el prototipo final.

Descripción Raspberry pi

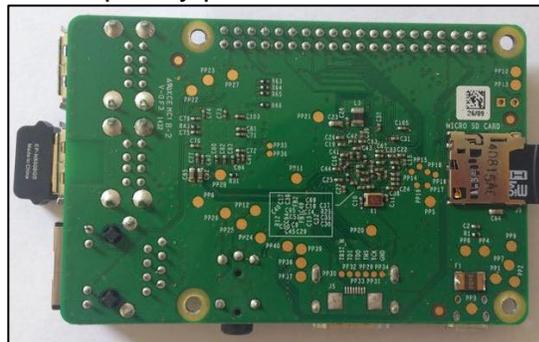
En el sistema de almacenamiento y comunicación, la tarjeta Raspberry pi, cumple un papel fundamental pues es la encargada de recibir la información, almacenarla, y enviarla a una base de datos en donde será procesada y observada con una aplicación móvil.

Figura 32. Vista superior Raspberry pi



Fuente: Autor.

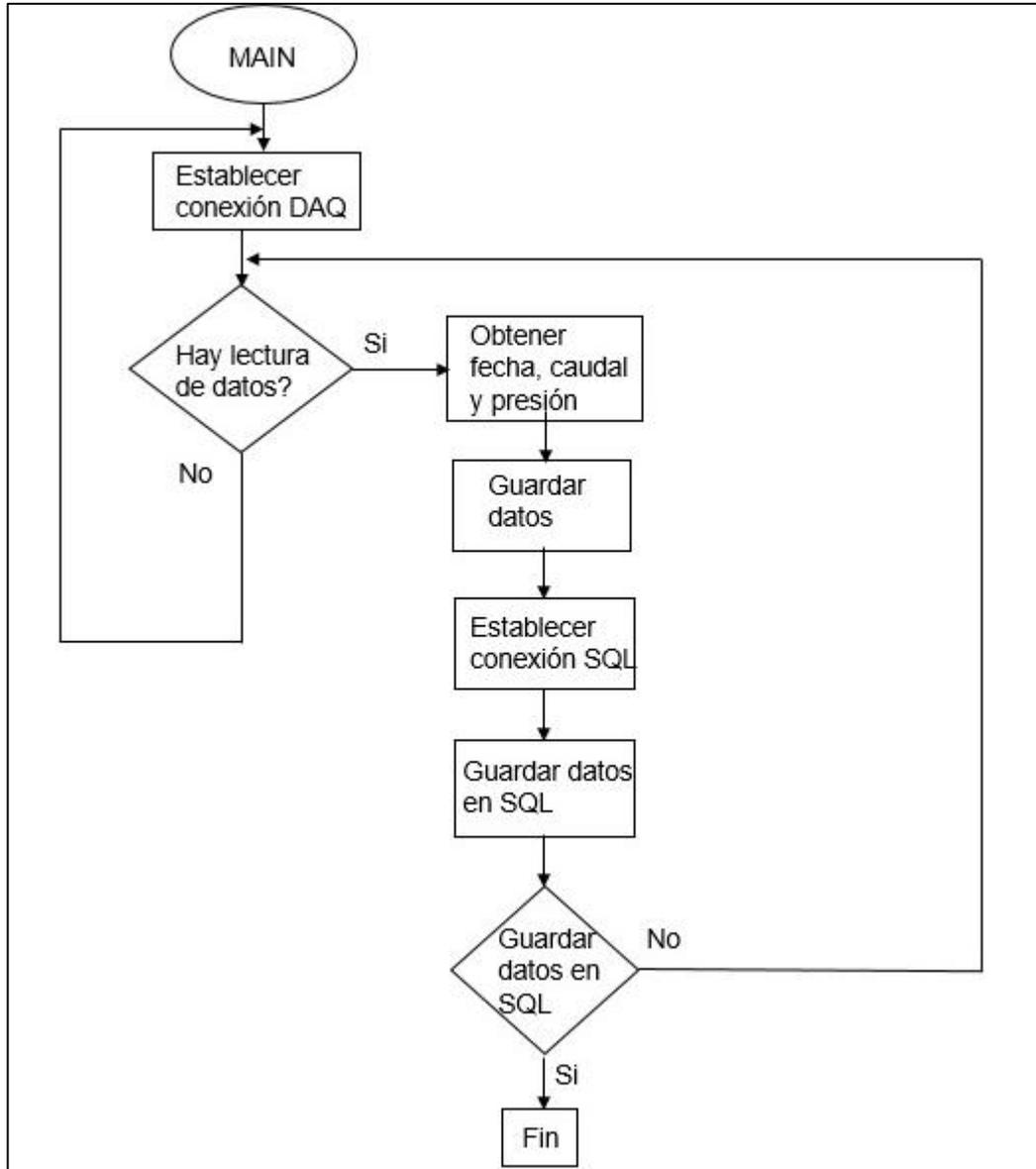
Figura 33. Vista inferior Raspberry pi



Fuente: Autor.

Programación: El lenguaje de programación utilizada para esta tarjeta fue PHP, en donde se utilizó una secuencia lógica la cual será expuesta en la Figura 34.

Figura 34. Diagrama de flujo sistema de almacenamiento y comunicación.



Fuente: Autor.

Como se puede observar, la función principal de la tarjeta Raspberry es almacenar la información, y establecer un enlace con el lenguaje de consulta estructurado SQL, el cual permite tener un acceso a la base de datos principal, en donde a través de la conexión al servidor por internet se puede tener acceso a información como las fechas y consumos diarios de caudal. Finalmente la aplicación móvil

mediante funciones de búsqueda se encarga de obtener los datos que el usuario requiera en esta base de datos.

A partir del diagrama de flujo, se establecieron los siguientes procedimientos lógicos para desarrollar las líneas de código:

- Se realiza la conexión a la tarjeta de adquisición de datos.
- Se verifica si existe lectura de datos en el puerto. Si es así, se obtiene la fecha actual de la Raspberry. Si no es así, empieza el ciclo nuevamente.
- Se crean 2 tipos de clase denominadas presión y caudal, las cuales, a partir de la conexión que se realizó previamente, obtienen el Id, valor medido y fecha.
- Se realiza la conexión a la base de datos importando la librería MySQLdb.
- Mediante el modelo caudal (MCaudal) y modelo presión (Mpresión), se crea la instrucción para guardar los datos leídos en la base de datos.
- Se verifica si existe alguna interrupción, de ser así, finalizar e inicial nuevamente la secuencia.

Las líneas de código para esta etapa del proyecto se encuentran en el Anexo 2.

3.3 DESARROLLO APLICACIÓN MÓVIL

Esta tercera etapa del proyecto, consiste en el enlace entre la base de datos del servidor y la aplicación móvil, la cual será utilizada por los usuarios de este servicio de tarificador electrónico.

Figura 35. Diagrama de bloques de la aplicación Móvil.



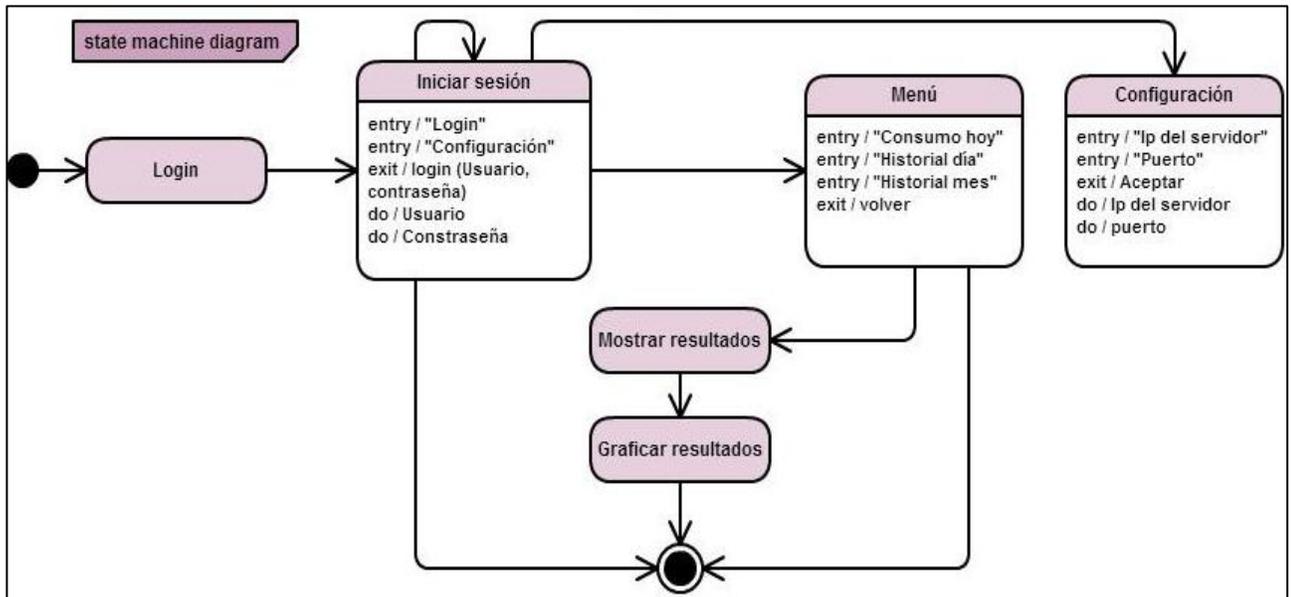
Fuente: Autor.

Uno de los objetivos de este trabajo de grado es la implementación de un tarificador electrónico de consumo de agua que facilitara su medición y lo más importante su visualización y seguimiento por parte del usuario. Es por esto, que el

diseño de esta etapa es vital para poder observar la dinámica del consumo de este recurso hídrico, su costo y herramienta para su ahorro.

La aplicación móvil, es una interfaz que despliega múltiples opciones de carácter numérico y gráfico de fácil acceso en donde el usuario solo necesita ingresar su nombre y respectiva contraseña registrada previamente en la base de datos. Para desarrollar esta aplicación se estableció el siguiente diagrama de estados:

Figura 36. Diagrama de estados de la aplicación Móvil.



Fuente: Autor.

A continuación se explicará con detalle el proceso mostrado en el diagrama de estados:

- La primera actividad que se realiza en la secuencia o proceso es la de “login”, en ella cuando se ingresa un usuario con su respectiva contraseña, automáticamente ejecuta una búsqueda en la librería de consulta de la carpeta servicios web (servidor), con el fin de verificar si está registrado, y retorna el nombre, apellido, y clave del usuario.
- En la actividad de “login”, se encuentra un botón de “configuración” en el que se configura la dirección IP del servidor, el dato del puerto, y la tarifa en la cual se rige el servicio del usuario.
- Una vez iniciado sesión la siguiente actividad en la secuencia o proceso es “home” (menú), en ella, el usuario puede escoger entre 3 fragmentos qué parámetros desea conocer de su consumo de agua domiciliaria. Estas tres opciones son: consumo hoy, historial día, e historial mes.
- Dependiendo de la opción que escoja el usuario se realiza la consulta en la carpeta de servicios web de la información requerida.

- Si el usuario escoge la opción “consumo hoy”, la aplicación automáticamente realiza la búsqueda en la base de datos de los metros cúbicos consumidos en el día, la tarifa, y la presión promedio. Calcula el valor del consumo promedio, y la hora en donde hubo mayor consumo de agua. Finalmente, se le da la opción al usuario de si requiere buscar nuevamente la información, o verla a través de una gráfica.
- El usuario escoge la opción “Historial día”, la aplicación despliega un calendario en el cual se debe indicar cual día desea conocer. A partir del comando enviado, la aplicación realiza la búsqueda en la carpeta de servicios web del consumo, y si encuentra la información requerida muestra la gráfica de consumo (m^3) vs tiempo (hr). En esta actividad, se permite al usuario realizar zoom, ver la línea promedio, línea límite superior y línea límite inferior.
- Si el usuario escoge la opción “Historial mes”, la aplicación realiza la búsqueda en la base de datos del consumo promedio diario durante ese mes, el día de mínimo y máximo consumo, y los muestra en una gráfica de consumo (m^3) vs tiempo (hr).

3.4 DISEÑO DE LA MAQUETA EN SOLIDWORKS

Para el desarrollo de esta etapa fue necesario escoger el software que se utilizaría para el diseño de la maqueta en donde se integrarán todos los componentes de este prototipo. Para esto se investigó y escogió el programa SolidWorks[®] puesto que es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza una interfaz fácil de manejar, sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas.

Una de las características esenciales que posee es la facilidad de modificar rápidamente operaciones tridimensionales y de croquis, sin tener que volver a realizar los diseños ya plasmados, puesto que integra un gran número de funciones avanzadas para facilitar el modelado piezas, crear grandes ensamblajes, generar planos y otras funcionalidades que le permiten validar, gestionar y comunicar proyectos de forma rápida, precisa y fiable.²⁹

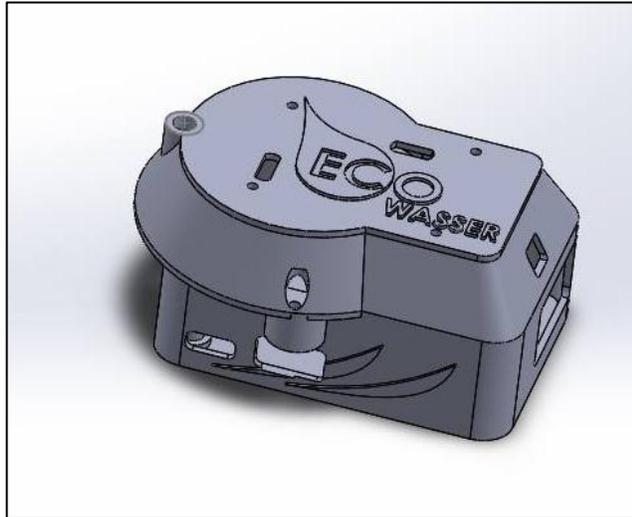
Utilizando este software se realizó el diseño de la maqueta que contendrá el prototipo de tarificador electrónico, con el fin de mostrar el uso y ubicación de este en las residencias domiciliarias. Esta maqueta está compuesta o dividida en diferentes secciones como: La caja que contiene el medidor electrónico, las redes de tubería a las que se les realiza la medición, y un diseño sencillo de una residencia en la cual se recibe este recurso hídrico.

La caja que contiene las tarjetas de adquisición de datos y la Raspberry se diseñó para ser impresa en 3D, tal y como lo muestra la Figura 37.

²⁹ Manual de formación SolidWorks 2006. SolidWorks Corporation. Concord, Massachusetts. PMT0070-ESP.

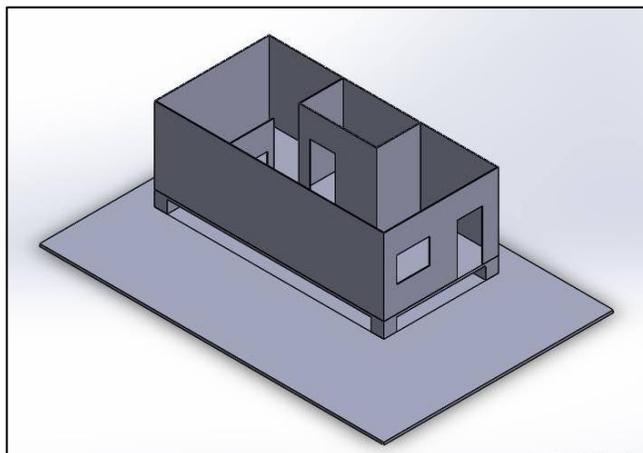
Para el diseño de la casa se tuvo en cuenta las divisiones principales de una residencia que hacen uso del agua como servicio domiciliario: La cocina, el baño y el patio (Figura 38). Estas divisiones, al igual que la base de la casa se realizaron en acrílico transparente con el fin de que se pueda observar el proceso de uso y medición de este recurso hídrico.

Figura 37. Diseño de la caja que contiene las tarjetas DAQ y Raspberry.



Fuente: Autor.

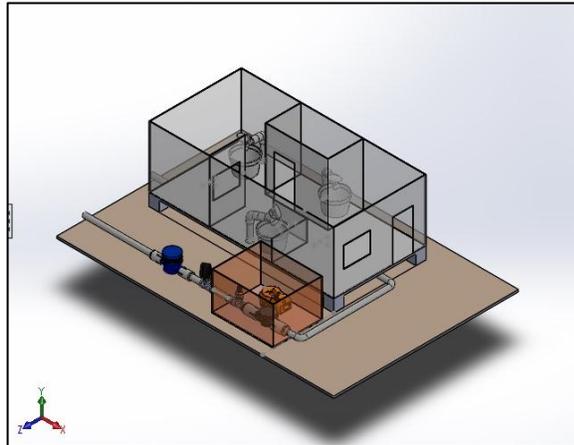
Figura 38. Diseño de la residencia domiciliaria.



Fuente: Autor.

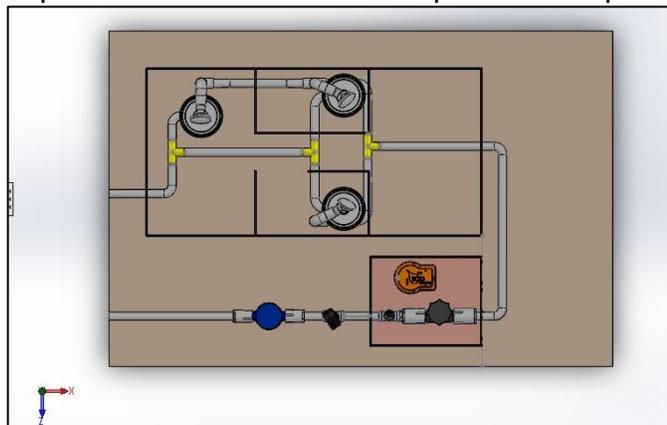
Finalmente se hizo el ensamble de todas las piezas que contiene la maqueta final, incluyendo las redes de tubería, medidores de flujo y presión tanto analógicos como digitales, y los desagües de agua correspondientes. Figura 39,40 y 41.

Figura 39. Diseño final de la maqueta con el prototipo.



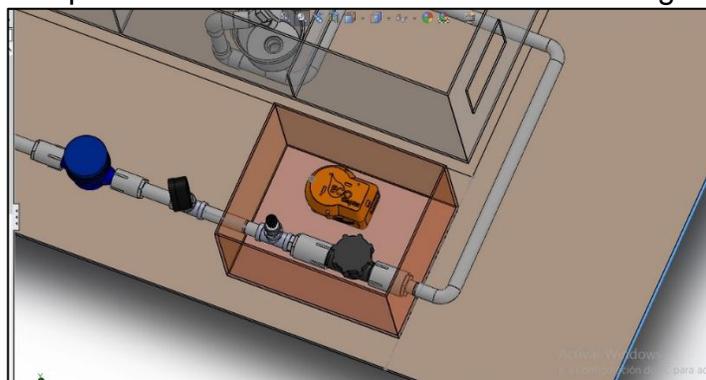
Fuente: Autor.

Figura 40. Vista superior diseño final de la maqueta con el prototipo.



Fuente: Autor.

Figura 41. Vista ampliada de los sistemas de medición análogos y digitales.



Fuente: Autor.

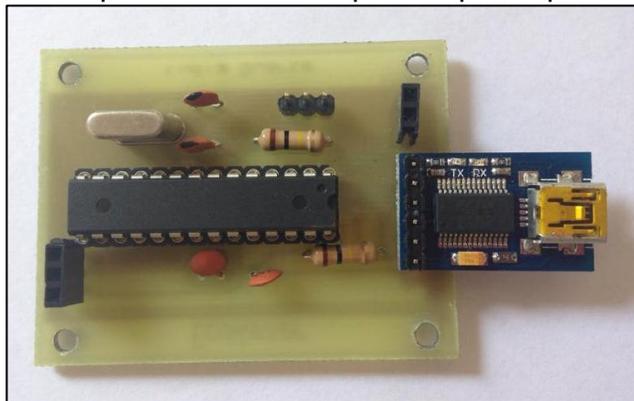
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Al finalizar el desarrollo de las 4 etapas establecidas para el diseño del prototipo de tarificador electrónico para la medición del consumo de agua domiciliario, se obtuvieron los siguientes resultados o evidencias para cada una de las etapas.

4.1. HARDWARE DEL SISTEMA

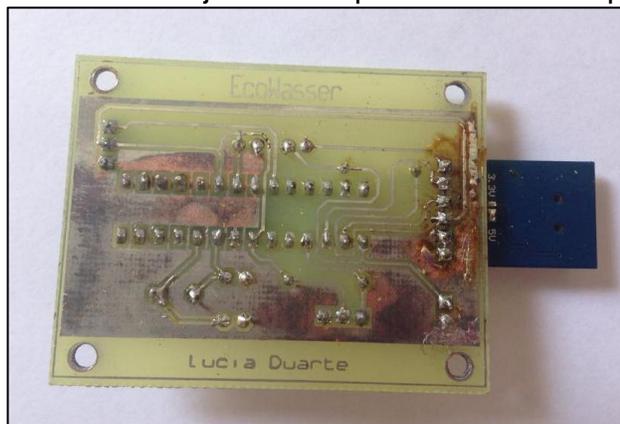
Se realizó el montaje correspondiente a la tarjeta de adquisición de datos (DAQ), reuniendo todos los elementos que componen la etapa de medición de datos según el diseño establecido. En la siguiente Figura se muestra el resultado final de esta etapa.

Figura 42. Tarjeta de adquisición de datos para el prototipo



Fuente: Autor.

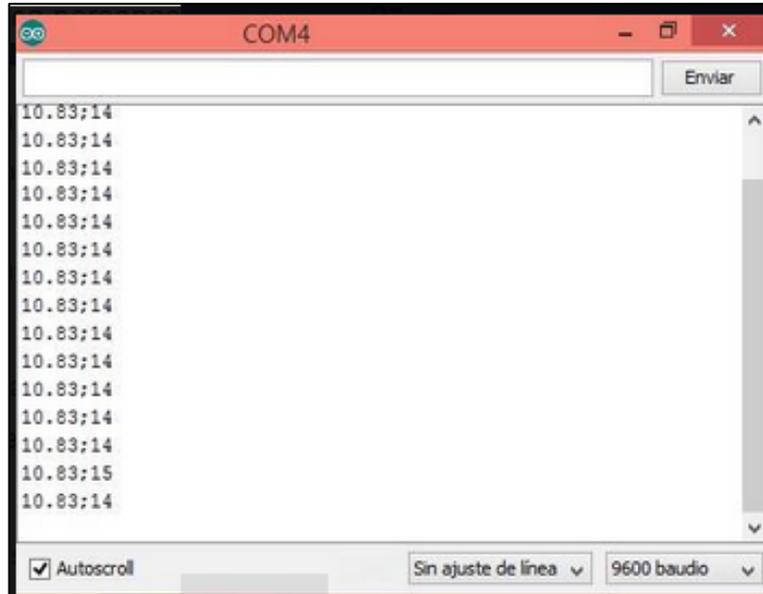
Figura 43. Vista inferior de la tarjeta de adquisición de datos para el prototipo



Fuente: Autor.

Para verificar el funcionamiento de la tarjeta de adquisición de datos, se ejecutaron pruebas obteniéndose lo siguiente:

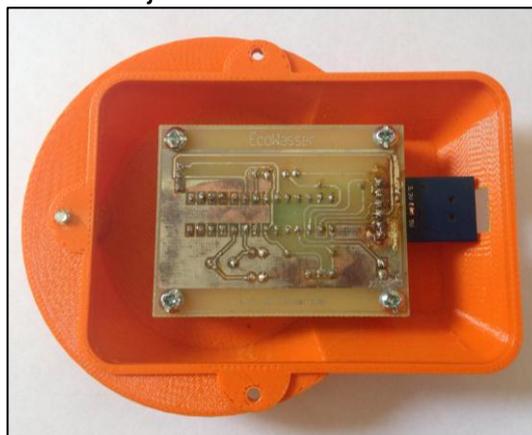
Figura 44. Resultados de las mediciones de caudal y presión.



Fuente: Autor.

De acuerdo al diseño de las etapas para el prototipo de tarificador electrónico, se construyó la tarjeta de adquisición de datos DAQ, la cual fue instalada dentro de una caja diseñada previamente en SolidWorks, con el fin de ser instalada en la maqueta final. A continuación en la Figura 45. Se puede observar la tarjeta DAQ, la cual va unida al sistema de almacenamiento de la Raspberry Figura 46.

Figura 45. Tarjeta DAQ en la caja EcoWasser



Fuente: Autor.

Figura 46. Raspberry en la caja del prototipo



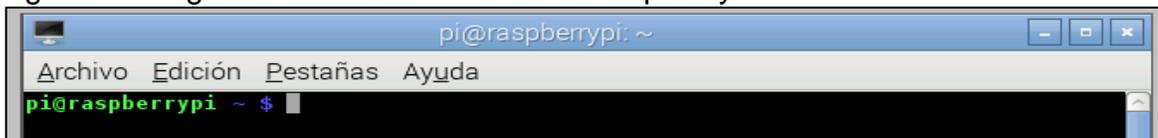
Fuente: Autor.

4.2 CONEXIÓN A LA DIRECCIÓN IP EN PYTHON

Para la comunicación entre la Raspberry y el servidor local, se utilizó un adaptador Wifi “EDUP NANO EP-N8508GS”, el cual permite conectarse a la dirección IP (Internet Protocol) de la vivienda en la cual se instalará el prototipo. A continuación se muestran los comandos para la configuración del Wifi en la Raspberry Pi.

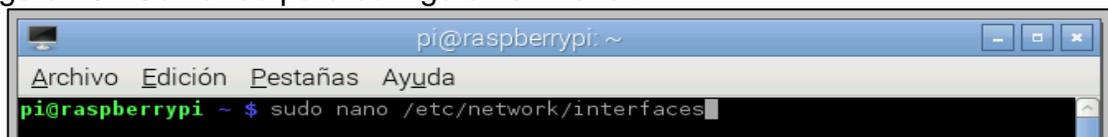
En primera medida, se debe abrir el terminal de la Raspberry (Figura 47). Luego, al introducir el comando `sudo nano /etc/network/interfaces`³⁰ (Figura 48), se observará un archivo de configuración de la interfaz de red local (Figura 49).

Figura 47. Ingresando a la terminal de la Raspberry



Fuente: Autor.

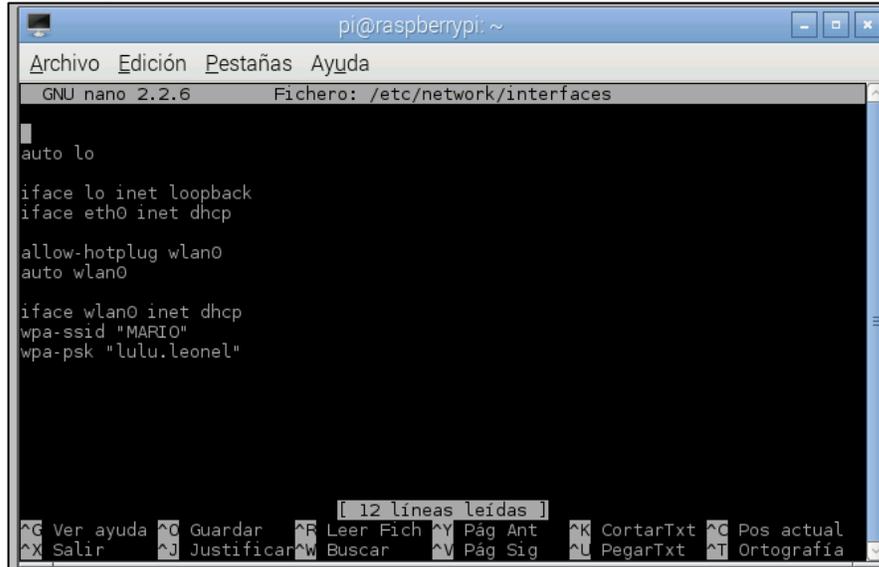
Figura 48. Comando para configurar la interfaz



Fuente: Autor

³⁰ GEEKY THEORY. Tutorial Raspberry Pi-10. Configurar Wifi [En línea]. <<https://geekytheory.com/tutorial-raspberry-pi-configurar-wif/>> [Citado el 20 de agosto de 2015].

Figura 49. Configuración de interfaz de red



```
pi@raspberrypi: ~
Archivo Edición Pestañas Ayuda
GNU nano 2.2.6 Fichero: /etc/network/interfaces

auto lo

iface lo inet loopback
iface eth0 inet dhcp

allow-hotplug wlan0
auto wlan0

iface wlan0 inet dhcp
wpa-ssid "MARIO"
wpa-psk "lulu.leonel"

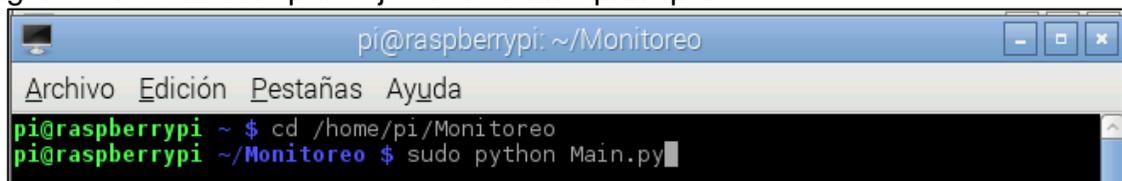
[ 12 líneas leídas ]
^C Ver ayuda ^O Guardar ^F Leer Fich ^Y Pág Ant ^K CortarTxt ^C Pos actual
^X Salir ^J Justificar ^W Buscar ^V Pág Sig ^L PegarTxt ^T Ortografía
```

Fuente: Autor.

Al obtener la configuración de interfaz de red se determina el nombre de la red y su respectiva contraseña, para este caso wpa-ssid "MARIO" wpa-psk "lulu.leonel". Para finalizar la configuración se reinicia la Raspberry pi con el comando: "sudo shutdown-r now".

Para ejecutar el archivo "main" que contiene el código que permite obtener los datos de la tarjeta DAQ hacia el servidor local, se utilizan los comandos contemplados en la Figura 50.

Figura 50. Comando para ejecutar archivo principal

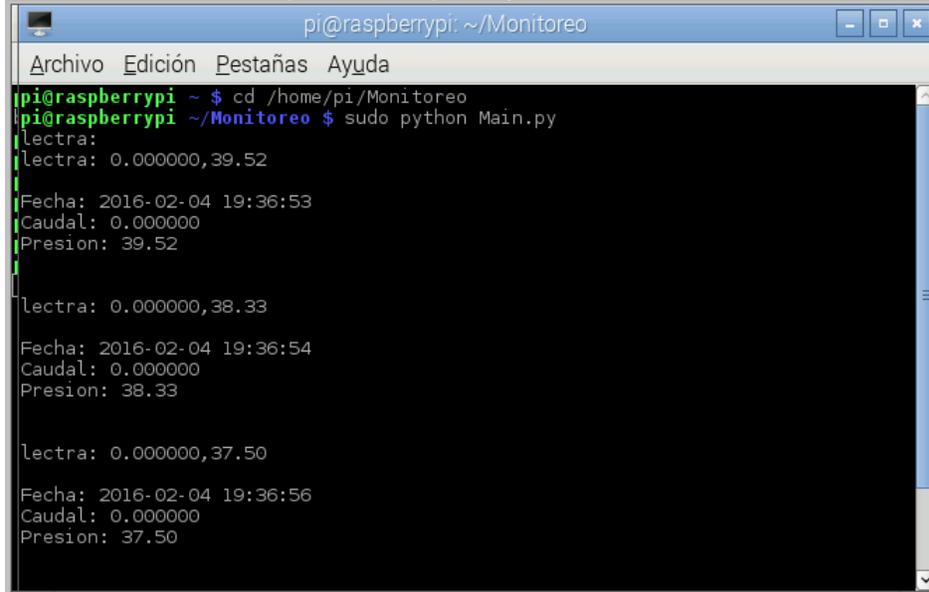


```
pi@raspberrypi: ~/Monitoreo
Archivo Edición Pestañas Ayuda
pi@raspberrypi ~ $ cd /home/pi/Monitoreo
pi@raspberrypi ~/Monitoreo $ sudo python Main.py
```

Fuente: Autor

Al ejecutar el comando se obtienen los datos de consumo de agua domiciliaria medidos como el caudal (m^3/s), y la presión (Psi). Figura 51.

Figura 51. Datos obtenidos por la Raspberry



```
pi@raspberrypi ~ $ cd /home/pi/Monitoreo
pi@raspberrypi ~/Monitoreo $ sudo python Main.py
lectra:
lectra: 0.000000,39.52

Fecha: 2016-02-04 19:36:53
Caudal: 0.000000
Presion: 39.52

lectra: 0.000000,38.33

Fecha: 2016-02-04 19:36:54
Caudal: 0.000000
Presion: 38.33

lectra: 0.000000,37.50

Fecha: 2016-02-04 19:36:56
Caudal: 0.000000
Presion: 37.50
```

Fuente: Autor.

Capacidad de almacenamiento de datos

Los datos obtenidos se almacenan en la SD de 8GB de la Raspberry. Para calcular la capacidad de un año de datos, teniendo en cuenta que el muestreo es de 1 segundo, Se realiza el cálculo correspondiente:

49 Bits (número de caracteres obtenidos en cada segundo), lo que equivale a 6.125 Bytes.

1 día tiene 24 Horas, entonces $24 \times 3600 = 86400$ segundos

$86400 \times 6.125 \text{ Bytes} = 529.200 \text{ Bytes al día}$

$529200 \times 365 (\text{año}) = 193.158.000 \text{ Bytes al año.}$

El sistema consume 200MB anuales, por lo que la memoria de la Raspberry Pi tiene suficiente capacidad de almacenamiento para varios años.

4.3. APLICACIÓN MÓVIL

Como se había explicado previamente en la etapa “Desarrollo Aplicación móvil” (Página 48), se realizó una interfaz de acceso entre la base de datos del servidor y el móvil para tener un monitoreo de este recurso hídrico. Se creó una aplicación móvil llamada “Tarificador”. Para observar el consumo, el usuario debe digitar un nombre y contraseña que debió haber sido registrado previamente en la base de datos del servidor (Figura 52).

En esta misma ventana, en la parte superior derecha encuentra el botón de ajustes en donde pueden configurar la IP del servidor, y la tarifa a la cual están regidos para el consumo de agua (Figura 53).

Figura 52. Inicio de sesión de la aplicación móvil.



Fuente: Autor.

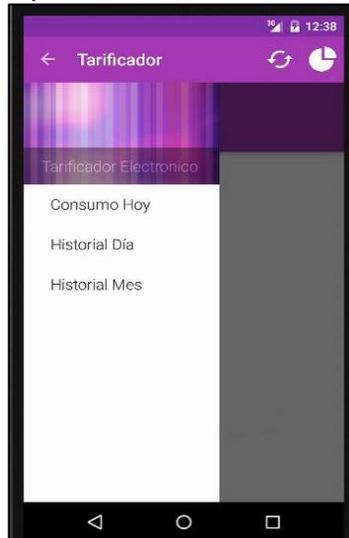
Figura 53. Configuración del servidor



Fuente: Autor.

Cuando ingresa al sistema, la aplicación le permite al usuario el uso de 3 opciones o servicios que corresponden a: Consumo hoy, historial día, historial mes (Figura 54). “Consumo hoy”, le facilita al usuario toda la información del total de m^3 consumidos a lo largo del día, el costo según la tarifa asignada, y la presión promedio del sistema de tuberías (Figura 55).

Figura 54. Menú de fragmentos aplicación móvil.



Fuente: Autor.

Figura 55. Interfaz consumo hoy.



Fuente: Autor.

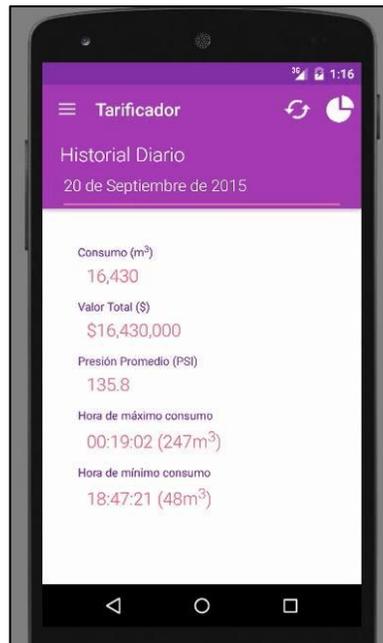
“Historial día”, permite al usuario escoger en un calendario cualquier día en el que él desee conocer el consumo que tuvo (Figura 56), además de la hora en la que tuvo mayor y menor uso de éste recurso hídrico (Figura 57).

Figura 56. Historial diario.



Fuente: Autor.

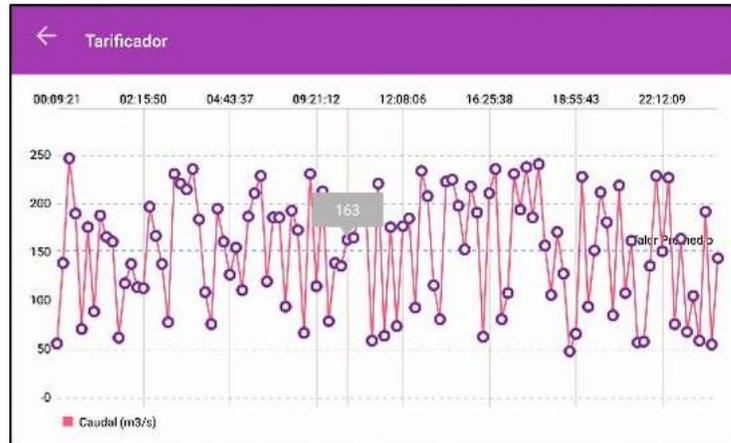
Figura 57. Resultados obtenidos en Historial Diario



Fuente: Autor.

En la parte superior derecha le proporciona la opción de graficar (símbolo de diagrama de torta) el volumen consumido versus el tiempo a lo largo del día (Figura 58).

Figura 58. Gráfica del consumo diario.

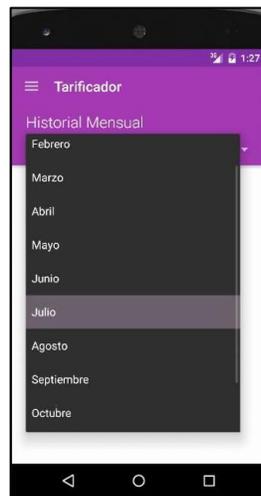


Fuente: Autor.

“Historial mes”, despliega el listado de meses del año para que el usuario escoja cual desea consultar en detalle, permitiéndole conocer el consumo real de ese mes (Figura 59), el día en el que hubo mayor y menor consumo (Figura 60), además de la opción de gráfica (Figura 61).

Como se puede observar esta aplicación móvil es de gran utilidad puesto que permite conocer en tiempo real la información necesaria para el control de consumo de agua domiciliaria por parte del usuario, presenta una interfaz sencilla y de fácil acceso.

Figura 59. Historial mes.



Fuente: Autor.

Figura 60. Resultados historial mes



Fuente: Autor.

Figura 61. Gráfica del consumo mes.



Fuente: Autor.

4.4. PROTOTIPO

Según el diseño en SolidWorks se imprimió en 3D la caja que contiene la tarjeta de adquisición de datos y Raspberry para ser ubicada en la maqueta final (Figura 62).

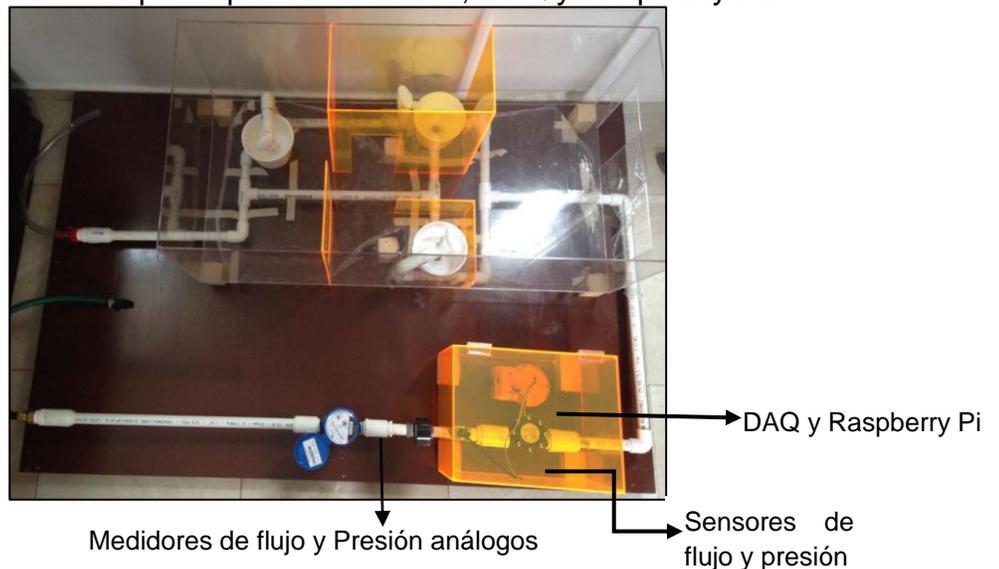
Figura 62. Caja EcoWasser que contiene las tarjetas



Fuente: Autor.

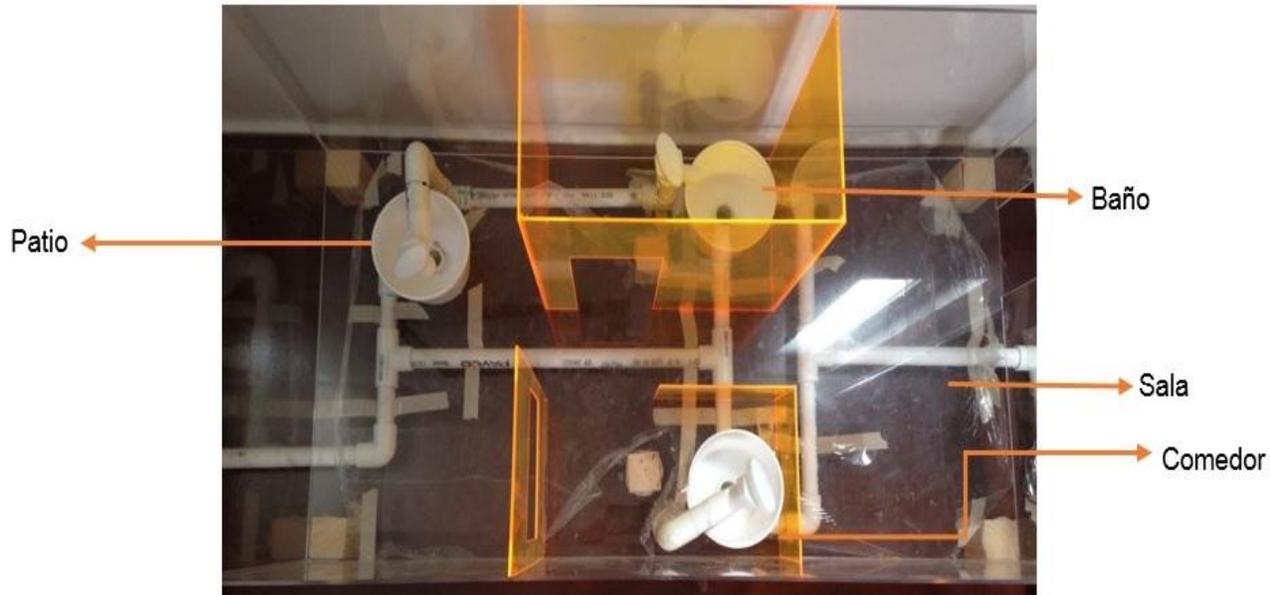
Finalmente se ensamblaron todas las piezas y redes de tubería, en donde se intenta simular los servicios que adquiere cualquier residencia domiciliaria, con sus respectivos desagües y llaves. De igual manera se instalaron los sensores de flujo y presión, y un manómetro para corroborar los datos medidos por el tarificador electrónico (Figura 63).

Figura 63. Diseño final del prototipo con sensores, DAQ y Raspberry Pi.



Fuente: Autor.

Figura 64. Diseño final del prototipo vista superior con las respectivas divisiones de una residencia.



Fuente: Autor.

A partir de la maqueta final (Figura 64), se realizaron pruebas de verificación de los sistemas de medición y error de los sensores. Estas pruebas se encuentran en el capítulo 4.5.

4.5. PRUEBAS DEL PROTOTIPO

Se realizaron las respectivas mediciones para el sensor de caudal utilizando el sensor de flujo del prototipo y el medidor de agua de Empresas Publicas de Neiva, con el fin de encontrar la ecuación de calibración del sensor de caudal.

Como el sensor de flujo entrega frecuencia en Hertz (Hz), en la siguiente tabla se muestra la equivalencia entre la frecuencia entregada por el sensor de flujo y el medidor de agua en L/seg.

Cuadro 8. Equivalencia entre frecuencia y caudal.

Medida por el Flujo	Brindada por el sensor de	Medida brindada por el medidor de Empresas públicas de Neiva.
X (Hz)	Y (L/S)	m³/s
0	0,000020000	0,000000
1	0,016620000	0,000017
2	0,033220000	0,000033
3	0,049820000	0,000050
4	0,066420000	0,000066
5	0,083020000	0,000083
6	0,099620000	0,000100
7	0,116220000	0,000116
8	0,132820000	0,000133
9	0,149420000	0,000149
10	0,166020000	0,000166
11	0,182620000	0,000183
12	0,199220000	0,000199
13	0,215820000	0,000216
14	0,232420000	0,000232
15	0,249020000	0,000249
16	0,265620000	0,000266
17	0,282220000	0,000282
18	0,298820000	0,000299
19	0,315420000	0,000315
20	0,332020000	0,000332
21	0,348620000	0,000349
22	0,365220000	0,000365
23	0,381820000	0,000382
24	0,398420000	0,000398
25	0,415020000	0,000415
26	0,431620000	0,000432
27	0,448220000	0,000448
28	0,464820000	0,000465
29	0,481420000	0,000481
30	0,498020000	0,000498
31	0,514620000	0,000515
32	0,531220000	0,000531
33	0,547820000	0,000548
34	0,564420000	0,000564
35	0,581020000	0,000581

Fuente: Autor

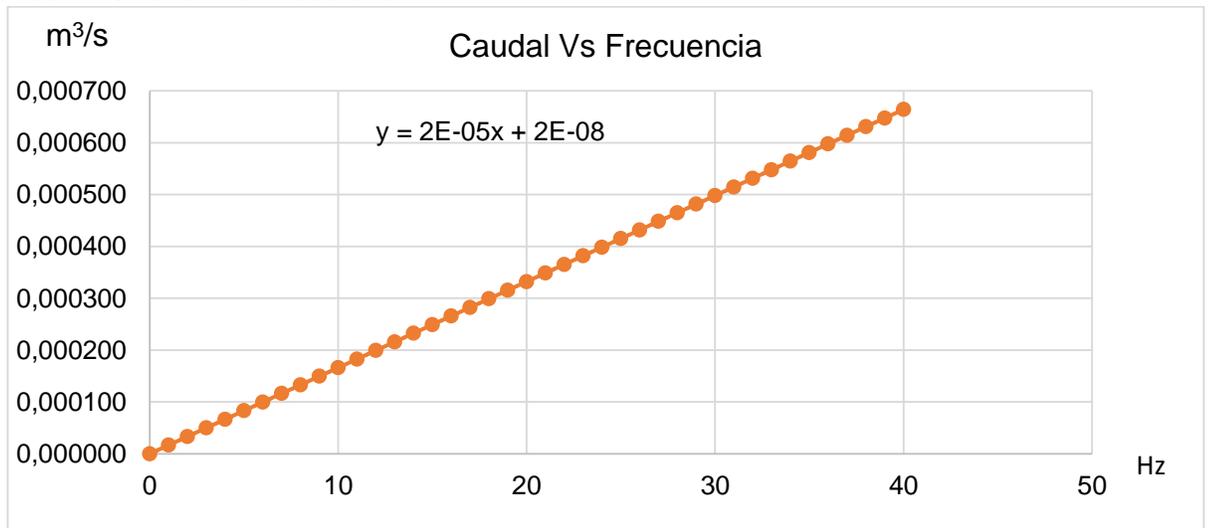
Cuadro 8. Continuación

Medida Brindada por el sensor de Flujo		Medida brindada por el medidor de Empresas públicas de Neiva.
X (Hz)	Y (L/S)	m3/s
36	0,597620000	0,000598
37	0,614220000	0,000614
38	0,630820000	0,000631
39	0,647420000	0,000647
40	0,664020000	0,000664

Fuente: Autor

A partir del cuadro anterior, se realizó el grafico correspondiente del cual se obtuvo una línea de tendencia que permitió establecer una ecuación general del sensor.

Gráfica 1. Caudal Vs Frecuencia.



$$Q = 2 * 10^{-5} * Hz + 2x10^{-8}$$

Ecuación 1.

Donde Q es el caudal de flujo obtenido para calibrar el sensor en (m³/seg), y Hz es la frecuencia en Hertz.

Posterior a esto, se realizó una segunda prueba en donde se verificó la veracidad de la ecuación anterior con respecto al caudal medido por el sensor en el sistema. En esta prueba se midió el volumen real que ingresaba al sistema, con respecto al volumen medido por el sensor en su calibración, con el fin de encontrar un porcentaje de error. Los resultados fueron los siguientes:

Cuadro 9. Prueba 1 volumen teórico vs volumen experimental.

Volumen real (L)	Volumen sensor (L)	% Error
1	1.12	12.0
2	2.28	14.0
3	3.36	12.0
4	4.48	12.0
5	5.63	12.6
6	6.73	12.2
7	7.87	12.4

Fuente: Autor.

Como se puede observar en el cuadro anterior, el porcentaje de error del sensor según la ecuación 1 es en promedio un 12%, por lo tanto se realiza una corrección a la ecuación de calibración con el fin de disminuir la incertidumbre. Finalmente la ecuación general del sensor es la siguiente:

$$Q = 1.76 * 10^{-4} * Hz + 1.76x10^{-8} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Para verificar la ecuación de calibración del sensor se realizó una prueba final con la que se obtuvo lo siguiente:

Cuadro 10. Prueba 2 volumen teórico vs volumen experimental.

Volumen real (L)	Volumen sensor (L)	% Error
1	0.969	3.10
2	1.920	4.00
3	2.853	4.90
4	3.822	4.45
5	4.773	4.54
6	5.724	4.60
7	6.657	4.90

Fuente: Autor.

Con el cuadro anterior se puede verificar que el porcentaje de error tiene un límite máximo de 4.9 %, lo cual hace aceptable los valores que en adelante mida el sensor de flujo para el prototipo de tarifador electrónico.

De igual manera se realizaron mediciones que comparaban el voltaje que entregaba el sensor de presión con los valores del manómetro instalado para esta prueba. A partir de los datos generados, se obtuvo lo siguiente:

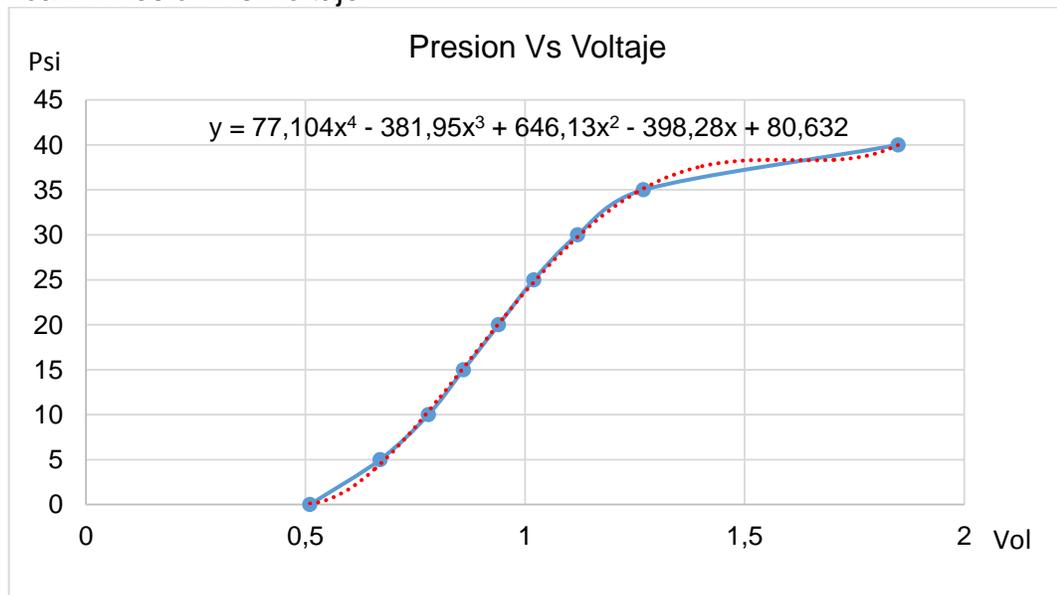
Cuadro 11. Comparación Voltaje- Psi

Voltaje	PSI
0,51	0
0,67	5
0,78	10
0,86	15
0,94	20
1,02	25
1,12	30
1,27	35
1,85	40

Fuente: Autor.

Con el cuadro anterior, se realizó el grafico correspondiente del cual se obtuvo una línea de tendencia que permitió establecer una ecuación general de calibración del sensor de presión.

Gráfica 2. Presión Vs Voltaje.



$$P = (77.104V^4 - 381.95V^3 + 646.13V^2 - 398.28V + 80.632) \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde P es la presión del sistema en Psi (Libras por pulgada cuadrada), y V el voltaje en Voltios.

Con la ecuación anterior, se realizó la prueba de verificación en donde se comparaban los valores mostrados por el manómetro y los valores de presión medidos por el sensor, con el fin de establecer el porcentaje de error. Para esta prueba se obtuvo lo siguiente:

Cuadro 12. Prueba de presión real vs presión sensor

Presión real (Psi)	PRUEBA Presión sensor (Psi)	% Error
5	4.94	1.20
10	9.81	1.90
15	14.79	1.40
20	19.26	3.70
25	24.53	1.88
30	30.52	1.73
35	34.37	1.80
40	39.44	1.40

Fuente: Autor.

Con el cuadro anterior se puede verificar que el porcentaje de error tiene un límite máximo de 3.7 %, lo cual hace aceptable los valores que en adelante mida el sensor de flujo para el prototipo de tarificador electrónico.

Costos del prototipo final

Una vez desarrollado todo el sistema de tarificación, el costo global del proyecto (en miles de pesos mcte)

Cuadro 13. Costo global del proyecto Tarificador Electrónico de Agua (en miles de pesos mcte).

EQUIPOS Y/O MATERIALES	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR
Equipos	*mirar tabla 8.4.2	1	5200
Software libre		1	0
Papelería	fotocopias e impresiones	1	100
TOTAL			5300

Fuente: Autor

Cuadro 14. Descripción de los Equipos adquiridos (en miles de pesos mcte).

EQUIPO	JUSTIFICACIÓN	CANTIDAD	VALOR
Elementos desarrollo tarjeta DAQ	Implementar la adquisición de datos	1	1200
Módulo de transmisión inalámbrica	Realiza transmisión de datos	1	700
Computador portátil i7 con RAM de 12 GB y disco duro de 1 TB.	Equipo de comunicación con el sistema de telemetría local y servidor	1	2500
Sensores	Caudal y presión	1	800
Total			5200

Fuente: Autor

Cuadro 15. Costo total del equipo tarificador (en miles de pesos mcte).

EQUIPO	CANTIDAD	VALOR
Tarjeta DAQ	1	40
Módulo de transmisión inalámbrica	1	100
Raspberry Pi 2	1	150
Sensor de Presión	1	120
Sensor de Flujo	1	120
Total		530

Fuente: Autor

5. CONCLUSIONES

- Se establecieron los sensores adecuados para la medición de flujo y presión del sistema en el prototipo a desarrollar en este proyecto de grado, los cuales fueron el sensor de flujo de agua YF-G1 y el sensor transductor G-1/4", basándose en las especificaciones consignadas en el contrato de mediciones uniformes EPN, costos, y practicidad de uso.
- Se diseñó un sistema de medición de parámetros de flujo de agua domiciliaria (caudal, presión), utilizando los sensores correspondientes y su conexión para la obtención de datos en una tarjeta DAQ, la cual adquiere la información en voltaje y frecuencia entregados por los sensores, y los convierte en magnitudes de caudal de flujo y presión.
- En la calibración de los sensores se encontró un error de 4.9% en los valores entregados para el caudal de flujo, y 3.7% para la presión obtenida según las ecuaciones establecidas para convertir los valores de frecuencia y voltaje. Esto permite inferir que el sistema de medición es adecuado para su implementación en redes domiciliarias de agua.
- Se estableció un servidor local embebido en el sistema de adquisición de datos para el almacenamiento de la información adquirida en la Raspberry pi, la cual hace el enlace entre el arduino y la aplicación móvil.
- Para la programación de la tarjeta de adquisición de datos DAQ, se utilizó el software arduino uno, cuyo lenguaje está basado en C y soporta todas las funciones estándar C y algunas de C++. En cuanto a la tarjeta Raspberry se aplicó el lenguaje de programación Python orientado a objetos. Como se puede observar, para cada sistema se utilizó un lenguaje diferente, debido a su respectiva compatibilidad.
- La curva de comportamiento obtenida para caudal vs frecuencia mostró una tendencia lineal con pendiente positiva. En cuanto a la presión vs el voltaje, su relación fue exponencial de orden 4, lo que expone la sensibilidad de presión ante cualquier cambio de voltaje, haciendo que su medición experimental fuera difícil y de muchas repeticiones para obtener una mayor precisión.
- Se diseñó una aplicación móvil en Android studio que permite al usuario conectarse a un servidor local en el cual se pueden visualizar los datos de consumo del agua como servicio domiciliario, obteniendo gráficas del consumo diario y mensual, y configurando el costo del m³ puede proporcionar un pronóstico del valor de la factura que tendrá el usuario, además de los picos máximos y mínimos de uso de este recurso hídrico.

- Se tomó un muestreo de 1 segundo para una mayor eficacia del prototipo junto con su aplicación móvil en el cual al mostrar las gráficas se pudo observar un mayor dinamismo de datos.
- Para el diseño de la maqueta se investigó y escogió el software SolidWorks® puesto que es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza una interfaz fácil de manejar, sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas, además de la facilidad de adquisición puesto que fue proporcionado por el SENA.

6. RECOMENDACIONES

- Para futuras mediciones experimentales se recomienda utilizar montajes más elaborados, en donde se permita visualizar con mayor facilidad los cambios de presión y caudal.
- Para el montaje de la maqueta no se utilizó para todas sus piezas la impresión 3D, puesto que no se encontró practicidad de aplicación y de igual manera el costo total no pudo ser asumido por el SENA. Es por esto que se utilizaron materiales convencionales en acrílico para complementar la representación básica de una instalación hidráulica domiciliaria.
- Para futuras investigaciones que complementen este proyecto de grado, es necesario establecer mejores convenios con la empresa prestadora de servicio público de agua, puesto que se requieren dispositivos del mismo nivel tecnológico utilizado en las redes domiciliarias, y que sin la ayuda de esta entidad hacen que la realización de nuevos prototipos sea más compleja
- Para mejoras en la aplicación móvil, es necesario mostrar los datos consumidos de los últimos seis meses con su respectiva gráfica.

BIBLIOGRAFIA

Bastidas Delgado, María Cristina. *Caracterización y estimación de consumos de agua de usuarios residenciales. Caso de estudio: Bogotá*. Trabajo de grado Ingeniera Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes. 2009.

Centros de estudios de economía sistémica. *Análisis del impacto de la regulación y de las estructuras productiva e industrial del sector de energía eléctrica sobre el nivel final de las tarifas y precios del servicio de energía eléctrica en Colombia*. Contrato Número 2012106. Colombia, 2012.

Chuchimarca Sarango, Edison Fabricio. *Diseño e implementación del prototipo de un sistema domótico para la medición del consumo de agua potable a través de internet y correo electrónico*. Trabajo de grado ingeniero en electrónica y telecomunicaciones. Loja, Ecuador. Universidad Nacional de Loja. 2014.

Contazara. Transformación inteligente de la gestión de agua [En línea]. <<http://www.contazara.es/>> [Citado el 6 de septiembre de 2015].

Creus, Antonio. *Instrumentación industrial*. Octava edición. Barcelona: Ediciones Marcombo, 2011. ISBN: 978-84-267-1866-2.

Electrónicos Caldas. *Convertor USB a serial con FT232RL* [En línea]. <<http://www.electronicoscaldas.com/drivers-comunicaciones-linea-bus/518-convertor-usb-a-uart-serial-ft232rl.html>> [Citado el 11 de septiembre de 2015].

Electronilab. Sensor de flujo de agua YF-G1. [En línea]. <<http://electronilab.co/tienda/sensor-de-flujo-de-agua-g12-1-30lmin/>> [Citado el 3 de octubre de 2015].

Escobar, José Antonio. *Costos y tarifas: Municipios menores y zonas rurales*. Bogotá, 2005. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. ISBN: 958-95606-8-7.

Florenberg Water Company. *Beating water lost* [En línea]. <<https://www.kamstrup.com/en-en/case-stories/water-casestories/case-florenberg-water-company-germany#/>> [Citado el 8 de septiembre de 2015].

Florez, Javier. *Contadores de agua inteligente* [En línea]. <<http://www.muyinteresante.es/innovacion/articulo/ahorro-de-agua-y-energia-contadores-de-agua-inteligente>> [Citado el 8 de septiembre de 2015].

Geeky Theory. *Tutorial Raspberry Pi-10. Configurar Wifi* [En línea]. <<https://geekytheory.com/tutorial-raspberry-pi-configurar-wif/>> [Citado el 20 de agosto de 2015].

Granger Brown, George. *Operaciones básicas de la ingeniería química*. Barcelona, editorial Marín. 1965.

Instituto de Aragón. *Gestión avanzada del parque de contadores* [En línea]. <http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Organismos/InstitutoAragon/esAgua/Documentos/CONTADORES%20II.pdf> > [Citado el 10 de septiembre de 2015].

Kzgunea. *Tipos de comunicación online* [En línea]. < <http://e-forma.kzgunea.net/mod/book/view.php?id=2297>> [Citado el 11 de septiembre de 2015].

Manual de formación SolidWorks 2006. SolidWorks Corporation. Concord, Massachusetts. PMT0070-ESP.

Mikroe. *Microcontroladores y electrónica* [En línea]. <http://www.academia.edu/8676608/Especificaciones_El_Atmega328_AVR> [Citado el 11 de septiembre de 2015].

National Instruments. *Adquisición de datos DAQ* [En línea]. < <http://www.ni.com/data-acquisition/esa/>> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

Núñez Contreras, Marco. *Tipos de medidores de presión* [En línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi2.shtml#elementosc#ixzz3jbqqG6yE>> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

Quiminet. *Los manómetros o medidores de presión* [En línea]. <<http://www.quiminet.com/articulos/los-manometros-o-medidores-de-presion-41823.htm>> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

Raspberry pi: guía del usuario, segunda edición. Raspberry pi foundation. Eben Upton.

Sensor Monitoring Device. Paraskevakos Electronics and Communication, inc. Paraskevakos Theodoros. United states. 24751939. Fecha de solicitud: 11, Julio, 1972, Patente de investigación, 3842208, 15, Octubre, 1974.

Todo ingeniería industrial. *Medidores de presión* [En línea]. <<https://todoingenieriaindustrial.wordpress.com/metrologia-y-normalizacion/3-7-medidores-de-presion/>> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

Toledo Gutiérrez, Marco A. *5 tipos de medidores de flujo de agua* [En línea]. <<http://www.aneas.com.mx/contenido/xxvpresent/Cap%205%20Tipos%20de%20Med%20ANEAS.pdfdomiciliarios>> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

Twenergy. *¿Qué es un contador de agua?* [En línea]. <<http://twenergy.com/a/que-es-un-contador-de-agua-1674>> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

Universidad Autónoma de Nuevo León. *Diseño del prototipo de transductor para la medición de consumo de agua residencial para tuberías de baja presión* [En línea]. <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080085747/1080087047_02.pdf> [Citado el 10 de septiembre de 2015].

Universidad De Alicante. *Sistemas de adquisición y procesamiento de datos* [En línea]. <<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19119/1/Sistemas%20de%20adquisici%C3%B3n%20y%20Procesamiento%20de%20datos.pdf>> [Citado el 11 de septiembre de 2015].

Vásquez Silva, Ricardo. *Medidas de presión*. Chile. Trabajo de laboratorio. Universidad de Atacama. Departamento de industria y negocios.

ANEXOS

Anexo 1. Código en Arduino para el sistema de medición

```
#include <EEPROM.h> // Activación de los registros del
microcontrolador.
volatile int NbTopsFan;
int P; // A esta entrada le llega el valor del sensor de presion
int Presion; // Operador Presion final
int Qa=2; // En la entrada 2 digital, llega el valor de caudal.
float Q; // Variable tipo float del operador caudal
float Qacu;// Caudal Final
float Pr;// Presion Final.

void rpm ()// Funcion de las llamadas de interrupcion
{
  NbTopsFan++; // Esta funcion mide el los cambios de frecuencia del
sensor Q.
}

void setup() {
  pinMode(Qa,INPUT); //inicializa el pin digital 2 como entrada
  Serial.begin(9600); //configura la funcion de puerto serial
  attachInterrupt(0, rpm, RISING); //and the interrupt is attached
}

void loop() {
  P = analogRead(A0);// En la entrada 0 Analoga lee los datos analogos
recibidos del sensor de presion.
  NbTopsFan = 0; // NbTops empieza de 0 para empezar con los
calculos
  sei(); // habilita las interrupciones.
  delay (1000); //cada segundo se toman los datos
  cli(); //inhabilita las interrupciones
  Q=(0.00002*NbTopsFan)+0.00000002; // Ecuacion del caudal en
m3/seg
  Qacu=Qacu+Q; // acumulador
```

```

float Presion=P*(5.0 / 1023.0); // obtencion de presion en voltaje.
Pr=(pow(Presion,4))*77.104-
381.95*(pow(Presion,3))+646.13*(pow(Presion,2))-
398.28*Presion+80.632; //ecuacion del sensor de presion Psi
Serial.print ("Caudal:");
Serial.print (Qacu,5);// imprime el valor del caudal.
Serial.print (",");
Serial.print ("Presion:");
Serial.println (Pr);// Imprime el valor de presion
}

```

Anexo 2. Código en Python para el sistema de almacenamiento y comunicación.

Código principal

```

import sys
import os
##from home.pi.Tesis.ConexionDB.Connection import Connection
sys.path.append(os.path.abspath("/home/pi/Monitoreo/ConexionDB"))
#from Connection import ConnectionDB
from MUsuario import MUsuario
from MPresion import MPresion
from MCaudal import MCaudal
from Presion import Presion
from Caudal import Caudal
import serial
import time
import datetime

arduino= serial.Serial('/dev/ttyUSB0', baudrate=9600, timeout=1.0)
#datafile=open('filename.txt','a')

while True:

    try:

        linea=arduino.readline()
        if linea != "":

```

```

#Condicion para que no guarde ceros en la base de datos
if str(linea.split(",")[0]) > 0.00000002:
    i=datetime.datetime.now()
    #datafile.write(i.strftime('%Y-%m-%d %H-%M-%S')+';')
    #datafile.write(str(linea))
    #datafile.write('\n')
    print 'Fecha: ' + i.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')
    print 'Caudal: ' + str(linea.split(";")[0])
    print 'Presion: ' + str(linea.split(";")[1]) + '\n'

    mPresion = MPresion()
    ePresion = Presion()
    ePresion.Valor = str(linea.split(";")[1])
    ePresion.Fecha = i.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')
    mPresion.SavePresion(ePresion)

    mCaudal = MCaudal()
    eCaudal = Caudal()
    eCaudal.Valor = str(linea.split(";")[0])
    eCaudal.Fecha = i.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')
    mCaudal.SaveCaudal(eCaudal)

##      model = MUsuario()
##      data = model.ObtenerUsuario('darl')
##      for registro in data:
##          usuario = registro[0]
##          clave = registro[1]
##          print 'usuario %s ' % clave

    time.sleep(1)
except KeyboardInterrupt:
    datafile.close()

    break

```

Classes

```
class Caudal:  
    Id = 0  
    Valor = ""  
    Fecha = ""
```

```
class Presion:  
    Id = 0  
    Valor = ""  
    Fecha = ""
```

Modelos

```
Modelo Caudal:  
from Caudal import Caudal  
from Connection import ConnectionDB
```

```
class MCaudal:  
  
    def SaveCaudal(self, caudal = None):  
        connection = ConnectionDB()  
        query = "INSERT INTO Caudal VALUES(NULL," + str(caudal.Valor) +  
", "+caudal.Fecha+""")  
        #print query  
        connection.SaveData(query)
```

Modelo presión:

```
from Presion import Presion  
from Connection import ConnectionDB
```

```
class MPresion:  
  
    def SavePresion(self, presion = None):  
        connection = ConnectionDB()  
        query = "INSERT INTO Presion VALUES(NULL," + str(presion.Valor) +  
", "+presion.Fecha+""")  
        #print query  
        connection.SaveData(query)
```

Modelo Usuario:

```
import sys  
import os
```

```
from Connection import ConnectionDB

class MUsuario:

    def ObtenerUsuario(self, usuario=""):
        conn = ConnectionDB()
        query = "SELECT * FROM Usuario WHERE NombreUsuario = '%s'" %usuario
        data = conn.GetDataQuery(query)
        return data
```

Conexión a la base de datos

```
import MySQLdb
import sys
```

```
class ConnectionDB:
```

```
    DB_HOST = "127.0.0.1"
    DB_USER = 'root'
    DB_PASS = '123.abc'
    DB_NAME = 'Tarificador'
```

```
    def __init__(self):
```

```
        self.datos = []
```

```
    def GetDataQuery(self, query = ""):
```

```
        conn =
```

```
MySQLdb.connect(self.DB_HOST,self.DB_USER,self.DB_PASS,self.DB_NAME)
```

```
        cursor = conn.cursor()
```

```
        cursor.execute(query)
```

```
        if query.upper().startswith('SELECT'):
```

```
            data = cursor.fetchall()
```

```
        else:
```

```
            conn.commit()
```

```
            data = None
```

```
        cursor.close()
```

```
        conn.close()
```

```
        return data
```

```
    def SaveData(self,query=""):
```

```
        conn =
```

```
MySQLdb.connect(self.DB_HOST,self.DB_USER,self.DB_PASS,self.DB_NAME)
```

```
        cursor = conn.cursor()
```

```
        try:
```

```
            cursor.execute(query)
```

```
            conn.commit()
```

```
        except:
```

```
            conn.rollback()
```

```
        conn.close()
```