

**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN Y MONITOREO PARA
UN MECANISMO DE RECOLECCIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS,
INSTALADO EN UNA UNIDAD RESIDENCIAL DE DOS PISOS**

JOSE JUAN BARACALDO BENJUMEA

OLGA CELESTE MENDOZA CARRILLO

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2019

**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN Y MONITOREO PARA UN
MECANISMO DE RECOLECCIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS,
INSTALADO EN UNA UNIDAD RESIDENCIAL DE DOS PISOS.**

Trabajo de grado para optar título de Ingeniero Civil

Autores:

JOSE JUAN BARACALDO BENJUMEA

OLGA CELESTE MENDOZA CARRILLO

DIRECTOR

Ing. DARIO ALONSO RAMIREZ AMAYA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado No. 1

Ing. DIEGO ALEJANDRO GUZMAN ARIAS

Firma del Jurado No. 2

Ing. DAVID JOSEPH AURESY SERRANO SUÁRES

Bucaramanga, marzo 2019.

*A mis padres mi apoyo incondicional para lograr esta meta,
A mis hermanos que fueron testigo del sacrificio y dedicación,
A Dios que me dio la sabiduría y fuerza para vencer todas las dificultades.*

“La educación es el encendido de una llama, no el llenado de un recipiente”

Sócrates.

JOSE JUAN BARACALDO BENJUMEA

*A Dios, por mantenerme en pie de lucha constante
A mi madre María de la Chiquinquirá por su apoyo incondicional,
A mis abuelos, Edmundo Molina y Julia Carrillo, por tanto amor,
A mis hermanas, por ser parte fundamental de cada uno de mis pasos.*

*“Yo te instruiré,
yo te mostraré el camino que debes seguir;
yo te daré consejos y velaré por ti”*

Salmos 32:8

OLGA CELESTE MENDOZA CARRILLO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por las fuerzas espirituales cada día, por permitirnos levantarnos cada mañana con fe y optimismo.

Al Ingeniero Darío Alonso Ramírez Amaya, director de nuestro trabajo de grado, por compartir su experiencia, conocimiento y paciencia, por ser un gran apoyo y motivación en la culminación de nuestros estudios profesionales.

Al Ingeniero Jherson Mauricio Suarez Santos, por su gran disposición en cada momento del desarrollo de nuestra investigación.

Al Laboratorio de Construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana y a su laboratorista Ramiro Díaz Luna, a la Ingeniera Nohora Emma Monsalve Peña por su amable colaboración en la gestión operativa para el desarrollo de la construcción de nuestro trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO.

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN	16
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 OBJETIVO GENERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA.	19
3.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA	19
3.1.1 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA Y SU USO EN EL PAÍS	20
3.1.2 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS Y SU USO INTERNACIONAL:.....	21
3.1.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA.	22
3.1.4 SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES UPB. 23	
3.1.5 SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN	25
3.1.6 RED DE DISTRIBUCIÓN.....	33
3.1.7 MANTENIMIENTO DE LA TUBERÍA	35
3.1.8 MANTENIMIENTO DE BOMBAS ELÉCTRICAS	35
3.2 MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN.	35
3.2.1 METODOLOGÍA DE MODELACIÓN	36
4 CARACTERIZACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA ZONA.....	42
5 MONITOREO DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA.....	46
5.1 VARIABLES DE MEDICIÓN EN SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO.....	46
5.2 SISTEMA DE MONITOREO IMPLEMENTADO	48
5.2.1 SENSORES DE CAUDAL.....	49
5.2.2 SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICO.	54

5.2.3	SENSOR DE POTENCIA.....	58
5.3	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	58
5.4	CABLEADO ESTRUCTURADO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN	59
5.5	AJUSTE DE LOS SENSORES DE MEDICIÓN.....	61
5.5.1	CALIBRACIÓN SENSORES DE CAUDAL.	61
5.5.2	CALIBRACIÓN DE LAS VARIABLES DE NIVEL.....	73
5.5.3	CALIBRACIÓN DE LAS VARIABLES DE ENERGÍA	76
6	DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN POR MEDIO DEL SOFTWARE LABVIEW, PARA EL MONITOREO DE LAS VARIABLES DE CAUDAL, ENERGÍA DE LA BOMBA Y NIVEL DE AGUA EN LOS TANQUES.....	78
6.1	APLICATIVO DE MONITOREO EN LABVIEW.....	80
7	VERIFICACIÓN EL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y MONITOREO.....	85
8	MANUAL DE OPERACIÓN Y USO PARA EL SISTEMA DE MONITOREO IMPLEMENTADO.....	90
8.1	PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL MONITOREO DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA.	91
9	PRESUPUESTO	96
10	CONCLUSIONES	97
11	RECOMENDACIONES.....	98
12	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de trabajo.....	17
Figura 2. Figura laboratorio construcciones UPB.....	24
Figura 3. Cubierta laboratorio de construcción UPB	25
Figura 4. Canales de recolección con aprovechamiento.....	26
Figura 5. Canal borde lateral derecho.....	27
Figura 6. Implementación canaletas de captación en toda la vivienda.....	27
Figura 7. Componentes del tanque de recolección.....	29
Figura 8. Sistema filtro bajante.....	30
Figura 9. Filtro del tanque de almacenamiento.....	30
Figura 10. Interceptor de primeras aguas.....	31
Figura 11. Tanque de almacenamiento.....	32
Figura 12. Tanque elevado res de agua lluvia.....	33
Figura 13. Puntos hidráulicos de la red de distribución.....	34
Figura 14. Bomba eléctrica.....	35
Figura 15. Resultado modelación.....	36
Figura 16. Medidas del circuito hidráulico.....	37
Figura 17. Curva característica de la bomba.....	38
Figura 18. Tabla de presiones resultantes 1.....	39
Figura 19. Tabla de presiones resultantes 2.....	39
Figura 20. Distribución de presiones red hidráulica exterior.....	40
Figura 21. Distribución de presiones red hidráulica interna.....	41
Figura 22. Fuente de información de variables hidrológicas.....	42
Figura 23. Precipitación total anual (mm), Departamento de Santander	43
Figura 24. Humedad relativa media anual.....	44
Figura 25. Evaporación anual	45
Figura 26. Velocidad media anual de vientos.....	46
Figura 27. Red de instrumentación del sistema	49
Figura 28. Caudalímetro YF-S201	50
Figura 29. Instalación de Caudalímetro.....	51
Figura 30. Caudalímetro N°1.....	51
Figura 31. Caudalímetro N°2	52

Figura 32. Caudalímetro N°3.	53
Figura 33. Caudalímetro N°4.	53
Figura 34. Ultrasonico HC-S04	54
Figura 35. Calculo de pendiente.	55
Figura 36. Dimensión de tanque.	55
Figura 37. Sensor de nivel instalado.	57
Figura 38. Ultrasonido con base en acrílico para la instalación.	57
Figura 39. Sensor de corriente SCT-013.....	58
Figura 40. Tarjeta Arduino Leonart Ethernet.	59
Figura 41. Instalación del cableado y tubería de PVC.....	61
Figura 42. Diagrama de ajuste, Caudalímetro de 1 pulgada posición vertical.	66
Figura 43. Diagrama de ajustes, caudalímetros de 1 pulgada posición horizontal.....	67
Figura 44. Diagrama de ajuste, caudalímetros 2 de ½ pulgada en orientación horizontal. 68	
Figura 45. Diagrama de ajuste; Caudalímetro 3 de ½ pulgada posición horizontal.	69
Figura 46. Maquina Gunt Hamburg HM 150.....	70
Figura 47. Puesta en marcha, sensor de 1 pulgada en posición vertical.	70
Figura 48. Caudalímetro N°2, instalado en la salida de distribución de agua lluvia.	71
Figura 49. Flujo de agua lavaplatos y monitoreo Caudalímetro n°2 salida agua lluvia.....	72
Figura 50. Flujo de llave de jardineria y monitoreo Caudalímetro n°2 salida agua lluvia..	72
Figura 51. Código en labview para sensores de nivel.	74
Figura 52. Panel frontal labview para sensores de nivel.....	74
Figura 53. Calibración ultrasonido tanque aéreo nivel máximo.	75
Figura 54. Calibración ultrasonido tanque aéreo nivel medio.	75
Figura 55. Calibración ultrasonido tanque aéreo nivel bajo.	76
Figura 56. Medición de la corriente por el sensor SCT-013.....	76
Figura 57. Conexión Arduino – Sensor SCT-013.	77
Figura 58. Calibración sensor de potencia	78
Figura 59. Esquema de conexiones	79
Figura 60. Conexiones sensores a tarjeta Leonard Ethernet en el laboratorio de la UPB	80
Figura 61. Aplicativo Labview.....	81
Figura 62. Visualización nivel de taques.	81
Figura 63. Visualización del consumo de potencia de la bomba.	82

Figura 64. Visualización operatividad caudalímetros.....	83
Figura 65. Indicador errores de conexión.....	83
Figura 66. Porción código de aplicativo en Labview.....	84
Figura 67. Modelo de conexión de las variables de caudal, nivel y energía.	85
Figura 68. Imagen tabla de resultados de ensayo.....	86
Figura 69. Grafica correlación monitoreo tanque colector vs tanque aéreo.....	87
Figura 70. Grafica correlación colector vs trabajo de la bomba.....	88
Figura 71. Algoritmo corrección lectura.....	88
Figura 72. Corrección gráfica correlación colector vs tanque aéreo.....	89
Figura 73. Corrección gráfica correlación colector vs tanque aéreo.....	89
Figura 74. Conexión caudalímetros.....	90
Figura 75. Conexión sensor nivel – sensor de potencia.....	91
Figura 76. Verificación alimentación de tarjetas.....	92
Figura 77. Verificación puerto COM y LPT.....	93
Figura 78. Ventana desplegable I/O.....	93
Figura 79. Vista botón RUN.....	94
Figura 80. Vista botón STOP.....	94
Figura 81. Vista reporte de datos.....	95

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Características área de captación.....	25
Tabla 2. Características de la recolección y conducción.....	28
Tabla 3. Características del interceptor.....	31
Tabla 4. Descripción de la bomba.....	37
Tabla 5. Datos de los tanques de captación.	56
Tabla 6. Cables y características.	60
Tabla 7. Coeficiente K ajustado ensayo 1.....	62
Tabla 8. Coeficiente k ajustado ensayo 2.	63
Tabla 9. Coeficiente K ajustado ensayo 3.....	63
Tabla 10. Caudal real ensayo 1.	63
Tabla 11. Caudal real ensayo 2.	64
Tabla 12. Caudal real ensayo 3.	64
Tabla 13. Caudal real ensayo 4.	64
Tabla 14. Caudal real ensayo 5.	64
Tabla 15. Caudal real ensayo 6.	65
Tabla 16. Caudal real ensayo 7.	65
Tabla 17. Correlación de variables del caudalímetros 1 de 1 pulgada en orientación vertical. 65	
Tabla 18. Correlación de variables del Caudalímetro 1 de 1 pulgada en orientación horizontal.66	
Tabla 19. Correlación de variables del caudalímetros 2 de media pulgada en orientación horizontal.67	
Tabla 20. Correlación de variables caudalímetros 3 de ½ pulgada en orientación horizontal.68	

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN Y MONITOREO PARA UN MECANISMO DE RECOLECCIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS, INSTALADO EN UNA UNIDAD RESIDENCIAL DE DOS PISOS

AUTOR(ES): JOSE JUAN BARACALDO BENJUMEA, OLGA CELESTE MENDOZA CARRILLO

FACULTAD: Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): DARIO ALONSO RAMIREZ AMAYA

RESUMEN

Este proyecto de investigación se elaboró con el fin de implementar un sistema de medición y monitoreo para un mecanismo de recolección y reutilización de aguas lluvias ubicado en el laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana, el cual permitirá con posteriores investigaciones cuantificar el ahorro del consumo en metros cúbicos de agua anual o mensual del sistema de abastecimiento primario, y a su vez estimar el valor del sistema completo y puesto en marcha.

Se realizó la instalación de cuatro caudalímetros para la medición de flujo de agua en las tuberías, dos sensores de nivel (análogos); uno para el tanque de almacenamiento de agua lluvia y otro para el tanque aéreo, un sensor de potencia para la medición de la energía consumida por la bomba de distribución durante su tiempo de operación; todos estos datos fueron almacenados por medio de un sistema de adquisición para crear un histórico de variables que permita medir la efectividad y uso del sistema de captación.

PALABRAS CLAVES:

Implementación, monitoreo, abastecimiento, reutilización, instalación, tuberías, sensores, análogos, bomba, variables, captación.

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: IMPLEMENTATION OF THE MEASUREMENT AND MONITORING SYSTEM FOR A MECHANISM OF COLLECTION AND REUSE OF RAINFALL, INSTALLED IN A TWO-FLOOR RESIDENTIAL UNIT

AUTHOR(S): JOSE JUAN BARACALDO BENJUMEA, OLGA CELESTE MENDOZA CARRILLO

FACULTY: Civil Engineering

DIRECTOR: DARIO ALONSO RAMIREZ AMAYA

ABSTRACT

This research project was developed with the purpose of implementing a measurement and monitoring system for a rainwater collection and reuse mechanism located in the construction laboratory of the university Pontificia Bolivariana. This mechanism will allow, through subsequent investigations, estimate, verify the savings and efficiency of the rainwater supply system.

The system was installed consisting of four flow meters for the measurement of water flow in the pipes of the residence, two level sensors (analog); one for the rainwater storage tank located outside the residence and another for the air tank that is located inside the residence on the second floor, a power sensor for measuring the energy consumed by the pump distribution during the time of operation; the information stored in the devices of the system will be used to create a history of variables that will allow to measure the effectiveness and use of the collection system.

KEYWORDS:

Implementation, monitoring, supply, reuse, installation, pipes, sensors, analogs, pumps, variables, recollection.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1 INTRODUCCIÓN

El recurso natural no renovable indispensable para la supervivencia del ser humano es el agua potable. El volumen total de agua disponible en la tierra es de 1.41 billones de kilómetros cúbicos, de los cuales sólo el 0,025% corresponde al agua potable. (Swain, 1998).

El ser humano tiene presente que el agua es un recurso no renovable, pero la gran mayoría de las actividades que realiza, tiene como consecuencia la contaminación y consumo desmedido. Debido a esto se afrontan periodos de sequía, olas de calor y demás fenómenos productos del cambio climático.

A causa de la variabilidad y el cambio climático, hay alteración en los cauces de los ríos, cambios de temperatura y, por ende, cambios en el paisajismo.

Con el fin de persuadir a la sociedad de consumo desmedido de agua y realizar un aporte a las alternativas que intentan mitigar el cambio climático, este proyecto, además de promover el uso del agua lluvia incentiva al ahorro, cuidado y dosificación del agua potable, creando estrategias para el control del uso diario descontrolado del agua de los seres humanos. Para verificar la conveniencia de estas estrategias resulta de importancia cuantificar el rendimiento real de estos mecanismos, con tal fin se empleó un sistema de medición y monitoreo de aprovechamiento de aguas lluvias.

Esta investigación se realizó posterior a un proyecto denominado “implementación y evaluación técnica de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia” el cual tuvo como alcance construir un sistema de aprovechamiento de agua lluvia en el prototipo de vivienda del laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana, seguidamente se creó la necesidad de monitorear el mecanismo de recolección de agua lluvia.

Para ello fue fundamental instrumentar variables de caudal, nivel y potencia. Por lo cual fue necesario instalar caudalímetros en las tuberías del sistema de captación para calcular el volumen de agua, un sensor de energía, para medir el consumo

energético de la bomba del sistema y sensores de ultrasonido que permitan monitorear los niveles de agua existente en los ataques de captación. Finalmente se desarrolló una aplicación por medio del software LABVIEW, para el monitoreo de las variables.

En la Figura 1 se muestra un esquema del resumen del trabajo realizado en el proyecto con cada una de las etapas para cumplir los objetivos.

Figura 1. Esquema de trabajo



Fuente: Autores

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real de la red de aprovechamiento de agua lluvia ubicado en el prototipo de vivienda del laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la red hidráulica y de captación ya instalados en la vivienda empleando un software para la modelación de instalaciones hidráulicas, con el fin de seleccionar el rango de medición para los instrumentos que mejor se adapten al funcionamiento del sistema.
- Instalar sensores análogos para realizar la medición en tiempo real de las variables de nivel, caudal y energía consumida por la bomba, en el circuito hidráulico y en el sistema de captación ya instalados en la vivienda.
- Desarrollar una aplicación por medio del software LabView, para el monitoreo de las variables de caudal, energía de la bomba y nivel de agua en los tanques.
- Calibrar el sistema de captación y monitoreo por medio de ensayos controlados de circulación de agua en la red de distribución y captación.
- Redactar el manual de operación y uso para el sistema de monitoreo implementado.

3 CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA.

3.1 Sistema de captación de agua lluvia



Las superficies de captación por lo general son los techos de las viviendas; el agua almacenada puede ser usada para la limpieza de pisos, sanitarios, lava manos y otras actividades como la jardinería y riego, que no se ven afectadas por el contenido de microorganismos y contaminantes presentes en el agua lluvia; es importante resaltar que el agua lluvia no es potable, por tal razón para su uso en el aseo personal o agua que se pretenda beber, se deberá tener un sistema de filtros y realizar un manejo adecuado con químicos para evitar problemas de salubridad, (Adler, Carmona, & Bojalil, 2008).

Existen diferentes contaminantes presentes en el agua lluvia, se pueden mencionar:

- Monóxido de carbono
- Óxidos de nitrógeno
- Dióxido de azufre
- Plomo

Todos estos contaminantes llegan a la atmósfera principalmente por las actividades industriales y la emisión de gases vehicular. En el ciclo de la lluvia, cuando se

produce la precipitación, las gotas arrastran la polución que se encuentra en la atmosfera, de manera que los primeros minutos de lluvia son los que arrastran la mayor parte de estos agentes contaminantes.

3.1.1 Sistemas de recolección de agua lluvia y su uso en el país

La mayoría de las poblaciones en el país se abastecen de fuentes superficiales de agua, como, embalses, ríos, lagos y quebradas. La facilidad de acceder al recurso ha dejado de lado el desarrollo de tecnologías alternativas para el suministro de agua, entre ellas el aprovechamiento de agua lluvia. Sólo en algunos casos de comunidades con problemas de abastecimiento de agua potable se utilizan sistemas para el aprovechamiento de agua lluvia, la mayoría de ellos son poco tecnificados lo cual ocasiona el uso ineficiente de los sistemas. Este es el caso de la comunidad de la Bocana en Buenaventura, algunos asentamientos de la isla de San Andrés, la vereda Casuarito del municipio de Puerto Carreño (Vichada), el Barrio el Ponzón de Cartagena, el asentamiento subnormal de Altos de Menga en la ciudad de Cali, entre muchos otros. Como casos aislados existen algunas edificaciones de tipo institucional o comercial, donde se realizaron diseños de instalaciones hidráulicas para el aprovechamiento del agua lluvia cubriendo total o parcialmente la demanda, entre ellos se cuenta: El almacén Alkosto Venecia (Bogotá), donde se aprovechan 6.000 m² de cubierta para captar alrededor de 4.820 m³ de agua lluvia al año, con lo cual se satisface el 75% de la demanda actual de agua no potable de la edificación. El almacén Alkosto de Villavicencio, esta edificación tiene una cubierta de 1.061 m² con la cual se capta el agua lluvia para ser almacenada en un tanque de 150 m³.(Suárez, García, & Mosquera, 2006) .

En investigaciones y actividades de aprovechamiento de agua lluvia a nivel educativo, en Colombia, un edificio de la Universidad Nacional, cuenta con un sistema en el cual su cubierta está protegida con grava que capta agua lluvia que es transportada y almacenada en un tanque subterráneo, desde el cual se bombea agua para la descarga de los inodoros, y lava manos.(Suarez, 2017).

Así mismo, la Pontificia Universidad Javeriana, realizó estudios para evaluar la viabilidad técnica y económica de lavar fachadas del Campus Universitario con agua lluvia.(Palacio Castañeda, 2010).

En el país se han venido implementando estos sistemas de recolección y aprovechamiento de agua lluvia. Recientemente fue inaugurada la primera estación de Policía bio-sostenible, ubicada en el municipio de Florida, (Valle del Cauca). Es la primera iniciativa eco sostenible que es inaugurada por la institución.

Con dicha estación eco sostenible, se estima que cerca de 60.000 personas del municipio serán beneficiadas, tal iniciativa tiene por objetivo reducir los niveles de energía eléctrica y agua potable e incentivar los servicios sostenibles en el territorio.

La estación de Policía fue construida y diseñada con un servicio hidrosanitario sostenible, que funciona con la reutilización de aguas lluvia. Con estas 'Edificaciones Cero Energía', que corresponden a la generación de energía propia a partir del uso de sistemas naturales renovables, la Policía le apuesta a la arquitectura sostenible(Vélez Luis, 2019).

3.1.2 Sistemas de recolección de aguas lluvias y su uso internacional:

A nivel internacional se encuentran desarrollando este tipo de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia Australia, que anualmente, más de 50.000 viviendas unifamiliares son construidas con conexión a tanques de almacenamiento de agua lluvia (Talebpour et al., 2011).

Por el contrario, en África, existe una alta población en condición de pobreza, lo cual complica la obtención de recursos y tecnología necesaria para construcción y operación de un sistema de acueducto y alcantarillado adecuado. Por ello en muchas zonas de este continente se ha producido una rápida expansión de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, aunque su práctica aún es informal en su mayoría, existe un proyecto adelantado "Sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias de muy bajo costo" desarrollado con el apoyo de Development Technology Unit, de Inglaterra. Al no ser frecuentes las precipitaciones, no es abastecida toda la demanda. (Ballén Suárez Galarza y Ortiz Mosquera, 2006).

En Asia, países como Singapur y China buscan alternativas para aprovechar el agua de precipitaciones, por tal motivo los techos son utilizados para la captación de aguas lluvias. En Tokio, el aprovechamiento de agua lluvia es promovido para mitigar la escasez de agua. A nivel comunitario se han implementado instalaciones que introducen a la población en la utilización del agua lluvia, estas son llamadas “Ronjinson”, se les encuentra en la vía pública del distrito de Mukojim. (Ballén Suárez, Galarza y Ortiz Mosquera, 2006)

3.1.3 Componentes de un sistema de recolección de agua lluvia.

Para llevar a cabo la implementación de un sistema de recolección de agua lluvia, es necesario tener en cuenta ciertos factores como lo son:

Factor humano: Es la necesidad por aprovechar el agua lluvia, generando ahorros económicos y evitando el uso desmedido de agua potable

Factores técnicos: Entre estos se encuentran el por qué, para qué y cómo del sistema de recolección

Para qué:

1. Uso para el agua captada.

- Usos simples como limpieza.
- Usos complejos: Limpieza corporal, agua de consumo.

Por qué:

1. Precipitación pluvial en la ciudad.

Aprovechamiento de la cantidad de milímetros anuales de lluvia en la zona del proyecto, el cálculo de lluvia máxima durante las tormentas y la duración en meses del periodo de lluvias.

Cómo:

1. Superficies de captación.

Adecuación de captación por medio de la instalación o adecuación de estructura existente.

2. Conducción del agua de lluvia

Son las tuberías de conducción del agua lluvia desde la captación hasta el almacenamiento.

3. Elementos de almacenamiento.

Elementos de almacenamiento que aproveche al máximo el tiempo de la precipitación y almacene abundante agua lluvia.

4. Bombas o sistemas de elevación de agua.

Usualmente son bombas accionadas por energía eléctrica que transportan el agua desde el punto de almacenamiento hasta la red de distribución de agua.

5. Mantenimiento.

Es la parte del proceso que garantiza la limpieza y reparación de los elementos del sistema que lo requieran, el cual debe realizarse eventualmente (Adler et al., 2008).

3.1.4 Sistema de recolección de agua lluvia laboratorio de construcciones

UPB.

El sistema de captación de agua lluvia está compuesto por los siguientes elementos: el área de captación, elementos para la recolección y conducción de agua lluvia (tanques y tubería), el sistema de filtración e interceptación de primeras aguas y el sistema de bombeo. Estos son los componentes que conforman el sistema de recolección de agua lluvia:

Área de captación

La zona de la cubierta en las edificaciones es usualmente la utilizada para la recolección del agua lluvia. Existe variedad de elementos que se pueden utilizar para la construcción del sistema de captación, las opciones de superficie de captación van desde metal hasta techos verdes. (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Es indispensable para un óptimo funcionamiento del sistema de recolección de agua de agua lluvia:

- Realizar una limpieza en la zona del techo.
- Realizar un mantenimiento de forma periódica.
- Contar con un manual de mantenimiento y uso del sistema.

A continuación, se muestra el laboratorio de construcciones de la UPB y una vista aérea del techo y el área de captación de agua lluvia.

Figura 2. Figura laboratorio construcciones UPB



Fuente: Autores

La captación del agua lluvia se hace por medio de una cercha metálica compuesta por dos paneles superpuestos, cuya estructura interna es polietileno expandible buscando la función de techos termoaislantes revestidos con láminas de acero galvanizado.

El coeficiente de escorrentía del prototipo de vivienda del laboratorio UPB es de 0.9, conformado por un sistema de dos aguas, con pendientes de 20% y 50% respectivamente, dichas pendientes facilitan la captación del agua lluvia (Avila Viviana, 2018).

Figura 3. Cubierta laboratorio de construcción UPB



Fuente: (Avila Viviana, 2018)

Las pendientes y el material que conforman el área de captación de la vivienda facilitan el deslizamiento del agua de precipitación hacia el sistema de recolección, lo cual permite un significativo aprovechamiento de la precipitación del agua lluvia en la vivienda.

La superficie de captación consta de un área de 70 m² proyectada horizontalmente, dicha área no presenta obstáculos que afecten el desvío del agua lluvia hacia la superficie.

Tabla 1. Características área de captación

Área	70 m ²
Pendientes	20% - 50%
Coefficiente de escorrentía	0,9
Material	Acero galvanizado

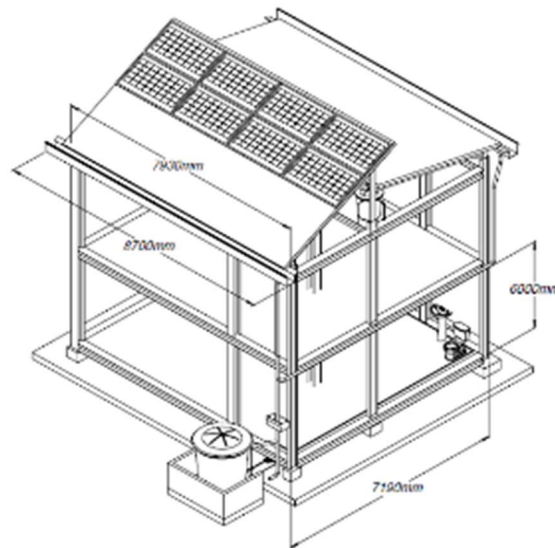
Fuente: Autores

3.1.5 Sistema de recolección y conducción

Según la resolución 0330 del 2017V (RAS), sólo se puede conducir agua de escorrentía a por medio de las canaletas instaladas en las edificaciones. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017) El agua lluvia se transporta en un ciclo desde la zona de captación hasta el tanque de almacenamiento.

El sistema de recolección se conforma por: la cubierta con pendiente inclinada que drena a las canaletas como se muestra en la Figura 4 y bajantes en los bordes exteriores del edificio por lo cual es importante la ubicación de los canales para no presentar desbordamientos.

Figura 4. Canales de recolección con aprovechamiento.



Fuente: (Avila Viviana, 2018)

Las canaletas utilizadas en la construcción son de PVC tipo amazona, conectadas por uniones que impiden el goteo.

Las canaletas de captación recorren una distancia de 8,65 metros que componen cada lateral de la vivienda, izquierdo y derecho como se muestra en la Figura 5 el cual retiene el agua lluvia que corre sobre la superficie de captación (techo). (Avila Viviana, 2018).

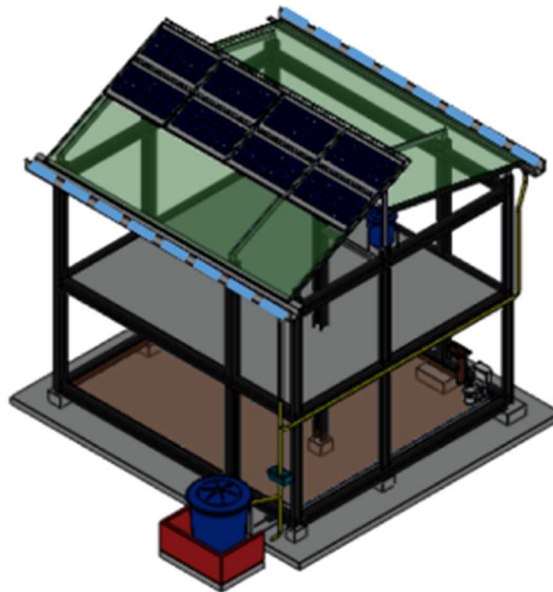
Figura 5. Canal borde lateral derecho.



Fuente: (Avila Viviana, 2018)

En la Figura 6 se muestra la vivienda con las dos canaletas laterales de captación.

Figura 6. Implementación canaletas de captación en toda la vivienda.



Fuente: (Avila Viviana, 2018)

3.1.5.1 Características de la recolección y conducción

En la Tabla 2 se mencionan las características de las canaletas instaladas en el sistema de captación.

Tabla 2. Características de la recolección y conducción.

Tubería sanitaria PVC	3"
Convertidor de cuadro a redondo	3"
Amarres	Tipo platino

Fuente: Autores

3.1.5.2 Filtración e interceptor de primeras aguas

Los contaminantes más comunes que repercuten en la eficiencia del sistema de aprovechamiento de agua lluvia son:

- Material desprendido de árboles y plantas
- Material orgánico
- Basura
- Agentes contaminantes
- Materiales de techos degradados (Avila Viviana, 2018)

Es necesario utilizar un sistema de pre filtración que mejore la calidad de agua almacenada en el tanque de abastecimiento, reduciendo el mantenimiento en los componentes del sistema, obstrucción de las tuberías y propagación o cultivos de bacterias en el agua que será almacenada, tal como se muestra en la Figura 7.

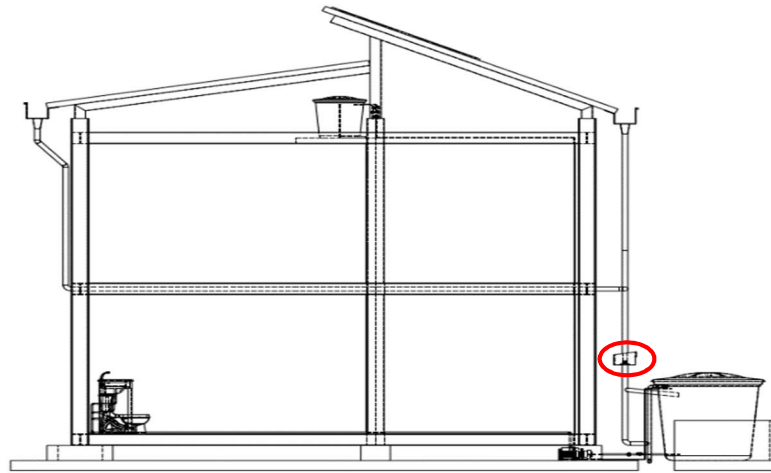
Figura 7. Componentes del tanque de recolección.



Fuente: Autores

La función del filtro Figura 8 es retener los contaminantes de mayor tamaño presentes en el agua lluvia, evitando el ingreso de partículas contaminantes a la zona de almacenamiento del agua lluvia (Avila Viviana, 2018).

Figura 8. Sistema filtro bajante.



Fuente: (Avila Viviana, 2018)

El filtro, como se muestra en la Figura 9 se instaló en la columna de la estructura metálica con puntos de soldadura, lo que garantiza estabilidad. Es necesario realizar la limpieza de la rejilla periódicamente, ya que tiene un área de tan solo 0,08 m² para almacenar las partículas provenientes del agua lluvia (Avila Viviana, 2018).

Figura 9. Filtro del tanque de almacenamiento.



Fuente: (Avila Viviana, 2018)

3.1.5.3 Interceptor de primeras aguas

La función del interceptor de primeras aguas es impedir la entrada de material que pueda contaminar al sistema de almacenamiento, impidiendo el paso de partículas de gran tamaño, además, tiene una válvula desviadora, la cual filtra el agua para iniciar el llenado del tanque de almacenamiento con una mejor calidad de agua.

3.1.5.4 Características del interceptor

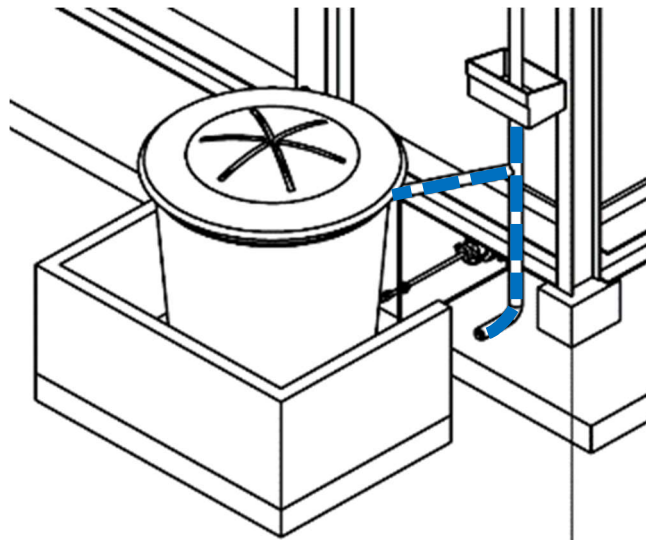
En la Tabla 3 se definen las características de interceptor y en la Figura 10 se observa la ubicación del interceptor de primeras aguas.

Tabla 3. Características del interceptor.

Desviador	Válvula cierre automático
Tubería de PVC	3"
Reducción	Impide el ingreso de partículas de gran tamaño

Fuente: Autor

Figura 10. Interceptor de primeras aguas.



Fuente: (Avila Viviana, 2018)

Tanque

El tanque y su capacidad de almacenamiento son determinados desde su fabricación, este cumple una función a largo plazo en el sistema de captación de agua lluvia, permite almacenar el agua recolectada y pre filtrada disponiendo el volumen captado hasta su total consumo o hasta una próxima precipitación.

El tanque de almacenamiento como se muestra en la Figura 11 está conformado por los siguientes elementos:

1. Área neta de tanque.
2. Entrada de agua lluvia.
3. Entrada de reducción de velocidad del agua lluvia.
4. Salida de agua lluvia hacia la red de distribución.
5. Indicador de nivel del tanque.
6. Desborde de agua lluvia.
7. Ventilación (Avila Viviana, 2018).

Figura 11. Tanque de almacenamiento.



Fuente: Autores

A continuación la Figura 12 muestra la ubicación del tanque aéreo, que se encuentra en la placa del piso superior.

Figura 12. Tanque elevado res de agua lluvia.



Fuente: Autores

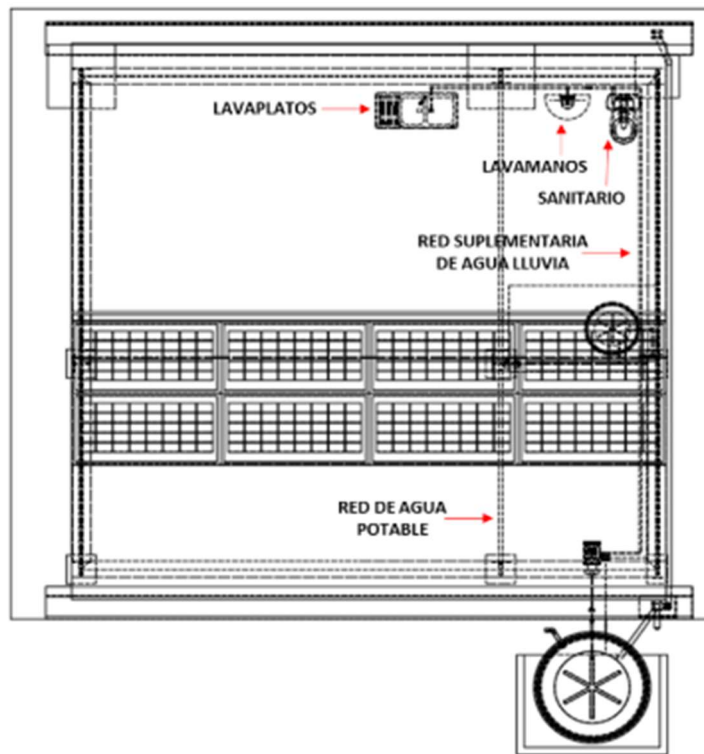
El tanque de almacenamiento exterior cuenta con una capacidad de 2000 litros y el tanque elevado interior cuenta con una capacidad de 250 litros, A partir de este tanque exterior se transporta el agua lluvia recolectada al tanque elevado interior mediante una bomba eléctrica que se encarga de suministrar la energía necesaria para la conducción del agua de un tanque a otro (Avila Viviana, 2018).

3.1.6 Red de distribución

Como su nombre lo indica esta red distribuye el agua almacenada desde la salida del tanque aéreo hacia los diferentes puntos destinados al aprovechamiento del agua lluvia como se muestra en la Figura 13. En este prototipo de vivienda también se cuenta con red normal de suministro de agua potable.

El sistema de abastecimiento cuenta con una válvula o cheque que le ofrece prioridad al agua lluvia o al agua potable, dependiendo de la disponibilidad y uso en el sistema.

Figura 13. Puntos hidráulicos de la red de distribución.



Fuente: (Avila Viviana, 2018)

A esta red de distribución se le instaló otro punto el cual se llamó jardinería, el cual se encuentra ubicado en la parte exterior de la vivienda.

Bomba

El sistema de bombeo conduce el agua desde el tanque de almacenamiento hacia el tanque de suministro (aéreo). Esta bomba Figura 14 con 110 V y 0,5 HP, está alimentada de la red eléctrica y permite bombear el agua a 6 metros de altura (Avila Viviana, 2018).

Figura 14. Bomba eléctrica.



Fuente: Autores.

3.1.7 Mantenimiento de la tubería

Recomendaciones para el mantenimiento de las tuberías:

- Verificar que no hayan filtraciones en las redes hidráulicas.
- Realizar mantenimiento periódico de las tuberías, mitigando daños propios del uso y desgaste.

3.1.8 Mantenimiento de bombas eléctricas

Es importante considerar para el mantenimiento de bombas eléctricas:

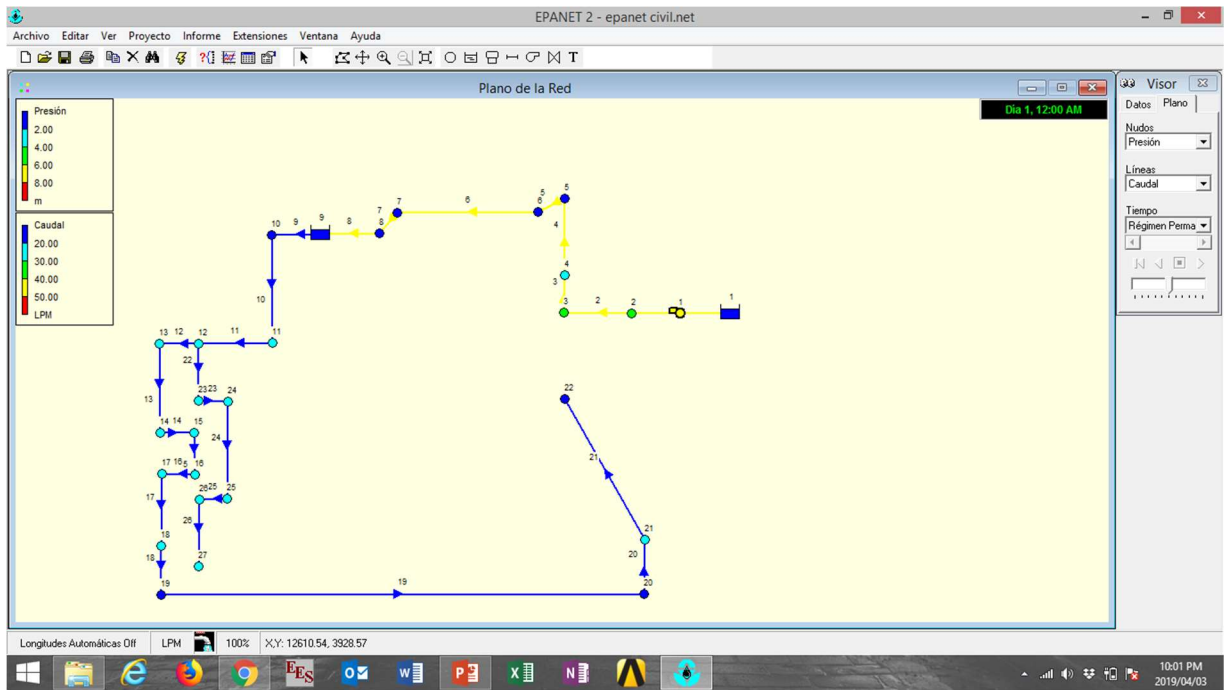
- Verificar la conexión a la red eléctrica.
- Verificar el aislamiento de la bomba.
- Proteger con una malla la entrada de agua a la bomba.
- Garantizar la presencia de agua en el tanque de almacenamiento, evitando calentamiento en la bomba.
- Realizar un mantenimiento periódico a la bomba (Avila Viviana, 2018).

3.2 Modelación hidráulica del sistema de captación.

Para la modelación del sistema de captación de agua lluvia se utilizó el software Epanet, el cual sirve para analizar el comportamiento hidráulico de una red, este realizó el análisis de toda la red de la vivienda de dos pisos del laboratorio de construcciones de la universidad pontificia bolivariana con el que se requiere el mejor

funcionamiento de la red, que cumpla con las condiciones de normal funcionamiento y realizando el análisis del programa se obtuvieron los resultados de presión en las distintas uniones del circuito hidráulico como se muestra a la Figura 15 (Ruiloa Tinoco, 2017).

Figura 15. Resultado modelación.



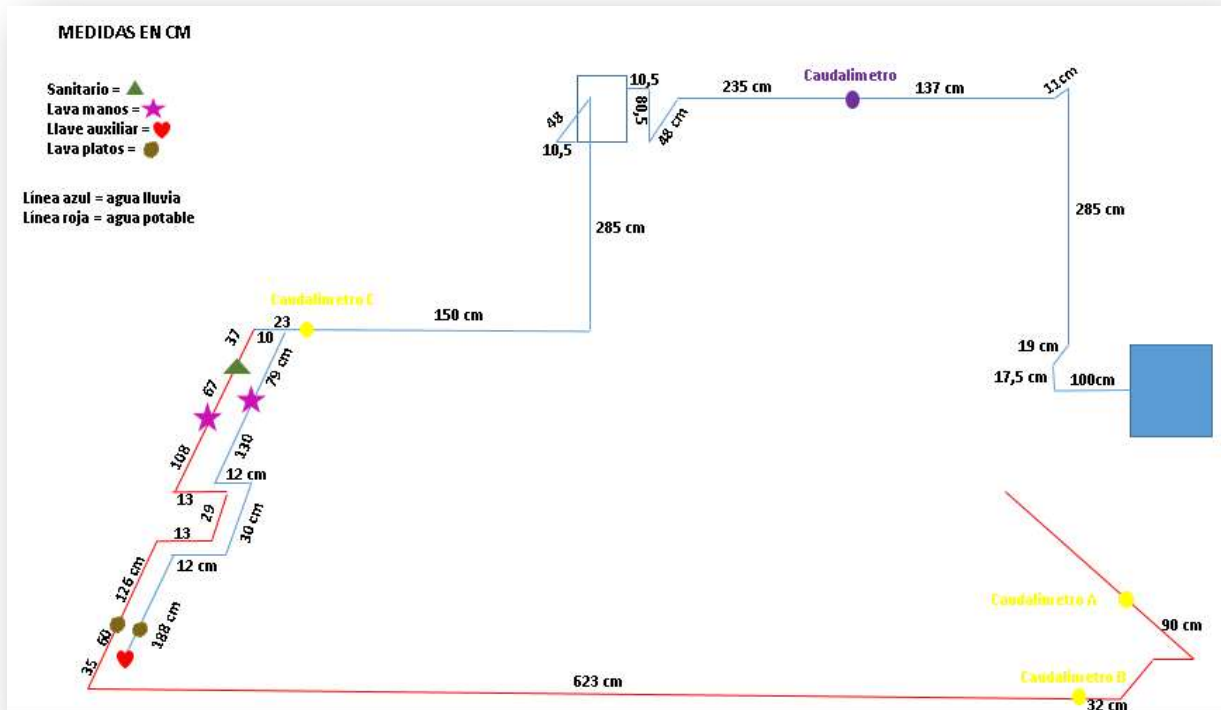
Fuente: Autores.

Como se muestra en la Figura 15 se puede evidenciar la escala de colores donde la presión máxima del sistema es alrededor de 6 m.c.a y un caudal máximo alrededor de 30 l/min.

3.2.1 Metodología de modelación

Nos interesó analizar el comportamiento de las presiones en el sistema ya que es la única variable de la que no se obtuvo resultados analíticos y es de gran importancia para entender el comportamiento del circuito hidráulico en este proyecto. Como datos de entradas fijos se encuentran los que se enuncian a continuación:

Figura 16. Medidas del circuito hidráulico.



Fuente: Autores

En la Figura 16 se puede evidenciar los datos de entrada del sistema para poder crear la modelación del software de Epanet en el cual están las medidas de tuberías, diámetro, cotas y ubicación de todos los instrumentos de medición del sistema de abastecimiento de agua lluvia.

En la Tabla 4 se muestra la descripción y especificaciones de la bomba utilizada en el sistema de abastecimiento de agua lluvia.

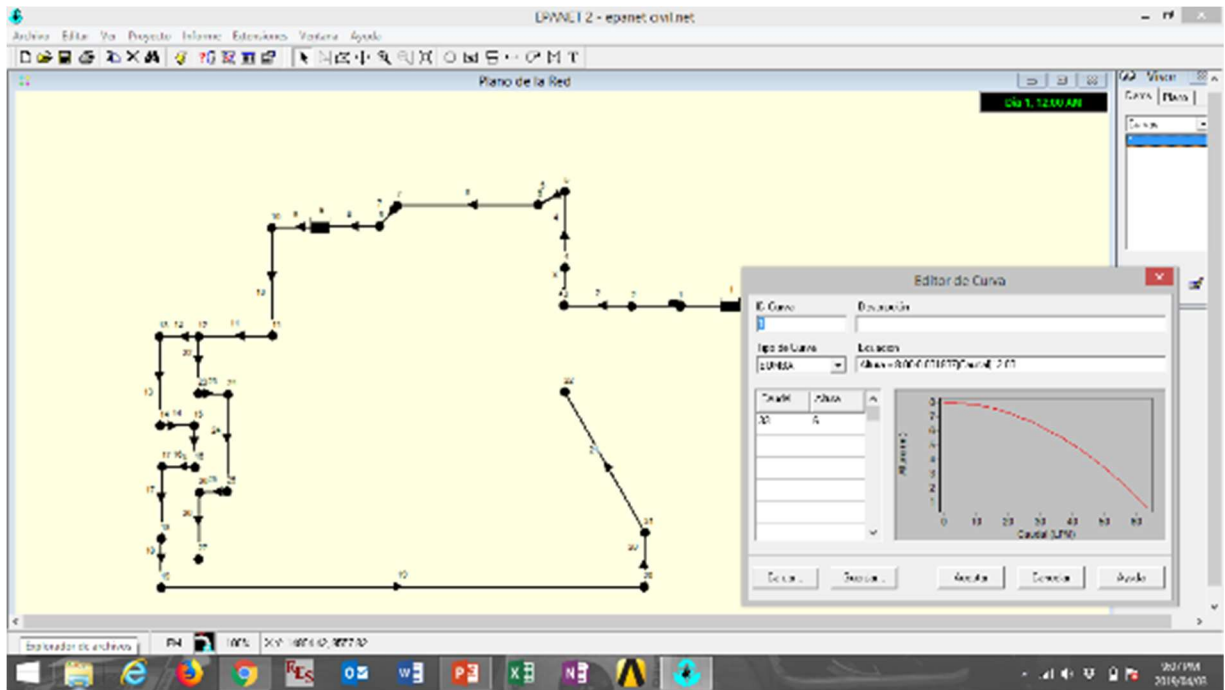
Tabla 4. Descripción de la bomba.

Marca	Potencia [Hp]	Caudal [l/min]	Tensión eléctrica [v]	Curva característica
Centrifuga Pedrollo	0,5	33	110	$H=8,00-0,001837(Q)**2$

Fuentes: Autores.

Epanet cuenta con un sistema para calcular la ecuación característica de la misma de la cual como datos de entrada se requiere el caudal y altura de trabajo en sus capacidades máximas, por ende, estos valores se ingresaron en el software, dando como resultado que muestra la Figura 17.

Figura 17. Curva característica de la bomba.

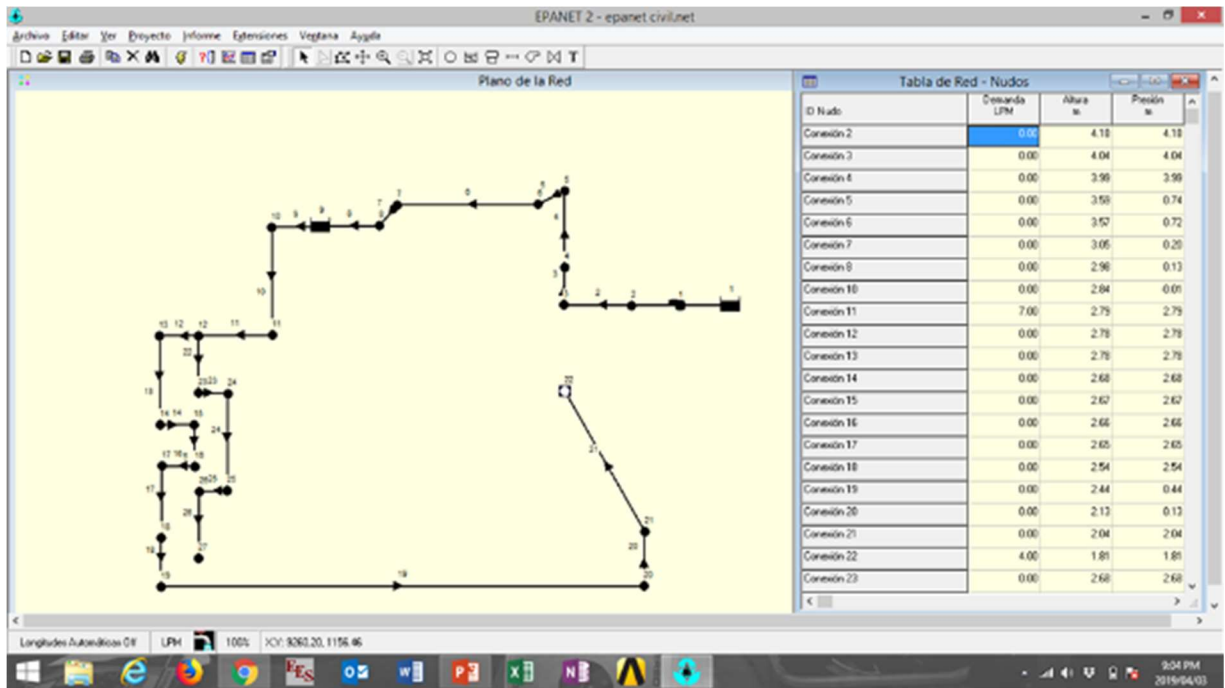


Fuente: Autores.

De esta forma se obtuvo y se especificó la curva característica de la bomba que describirá el comportamiento de la altura en función del caudal.

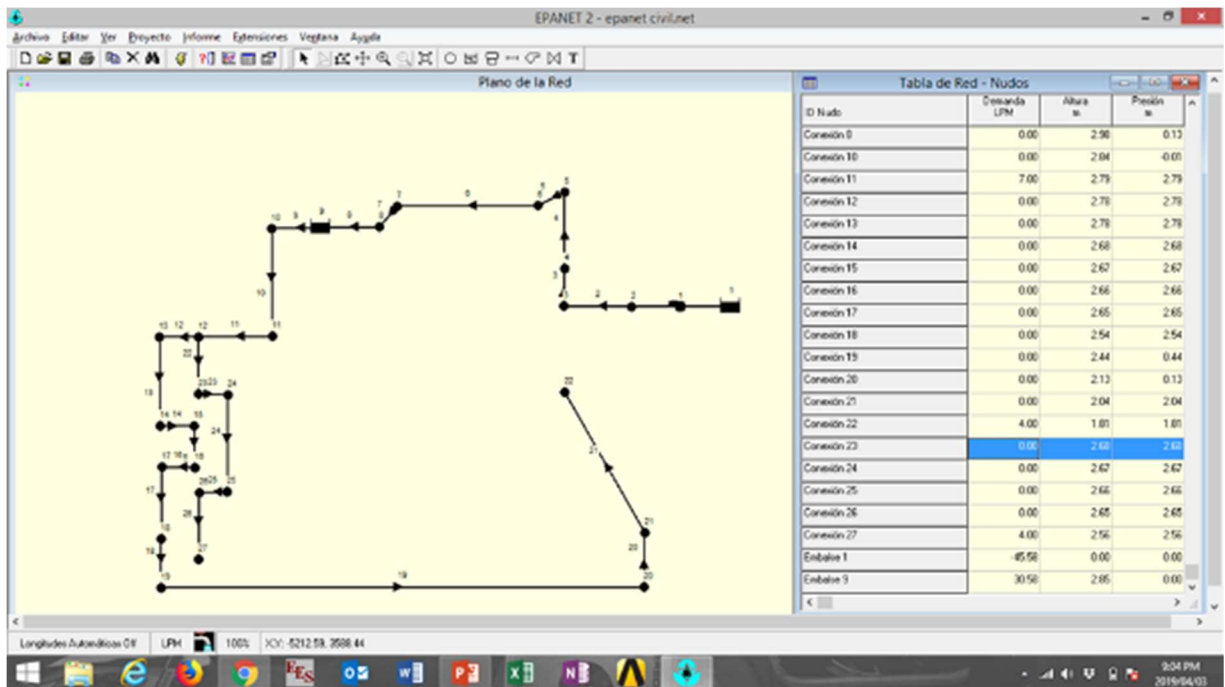
En la Figura 16 se plasmó la red hidráulica asociando los datos suministrados en el mapa de medidas para las cotas de los nodos, longitud, diámetro de tuberías y distribución de la red. De esta forma se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto al comportamiento de las presiones.

Figura 18. Tabla de presiones resultantes 1.



Fuente: Autores

Figura 19. Tabla de presiones resultantes 2.

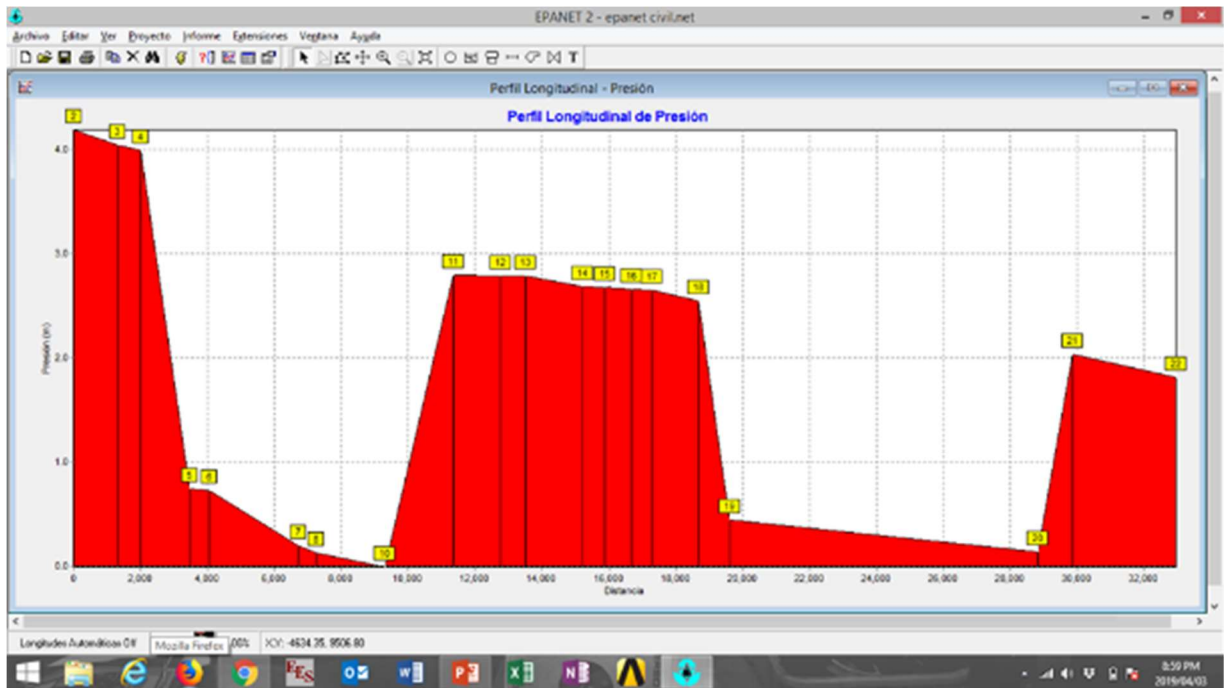


Fuente: Autores

En las Figura 18 y Figura 19 Se obtuvieron las diferentes presiones que el circuito hidráulico presenta para poder conocer el comportamiento del sistema.

El modelo hidráulico presento la distribución de presiones de la red exterior del circuito hidráulico.

Figura 20. Distribución de presiones red hidráulica exterior.

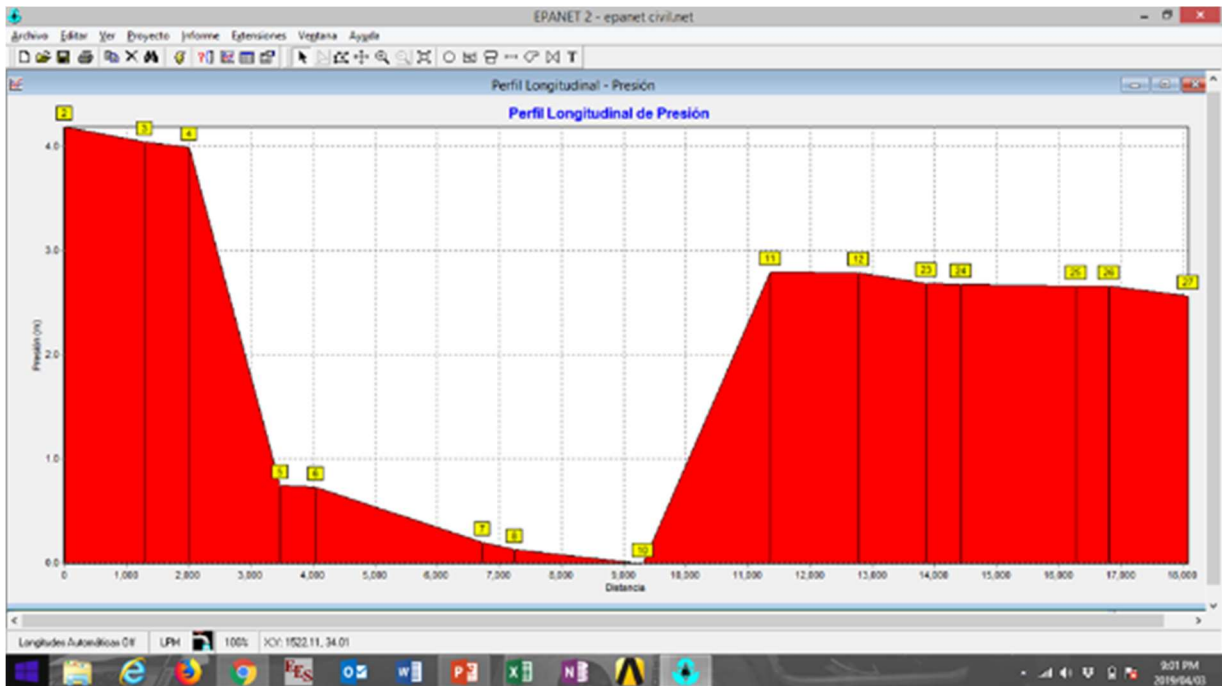


Fuente: Autores

Como se observa en la Figura 20. se pueden evidenciar las presiones máximas en la salida de la bomba, debido a las pérdidas estas presiones van disminuyendo hasta llegar al tanque aéreo donde la presión es cero ya que este está abierto a la atmósfera y no está presurizado.

A continuación, la distribución del fluido se lleva a cabo mediante caída por gravedad evidenciándose que esta presión va disminuyendo por pérdidas hasta el nodo superior donde volverá a presentarse una caída por gravedad.

Figura 21. Distribución de presiones red hidráulica interna.



Fuente: Autores

Al igual que la Figura 20 esta grafica muestra distribución de presiones donde la presión máxima está en la salida de la bomba hasta llegar al tanque aéreo donde será cero debido a que está abierto a la atmosfera. A partir del tanque el flujo del agua se llevará a cabo mediante la caída por gravedad.

4 Caracterización hidrográfica de la zona.

La Universidad Pontificia Bolivariana se encuentra localizada en el área metropolitana de Bucaramanga. El sistema de captación y monitoreo de agua lluvia está localizado en el laboratorio de construcciones de la misma universidad.

En Colombia el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) ofrece a las personas naturales y jurídicas todos los datos históricos hidrológicos, meteorológicos o ambientales que deseen conocer, cumpliendo con el principio de gratuidad contemplado en la ley 1712 del 6 de marzo de 2014 (IDEAM 2018). En esta se encuentran las estaciones hidrológicas con la ubicación exacta, departamento, municipio, clase, categoría, longitud, altitud, corriente, fecha de instalación y fecha de suspensión como se muestra en la Figura 22; la estación está ubicada en el municipio de Piedecuesta, Santander ideal por su cercanía al proyecto para extracción de datos importantes como lo son la evaporación, precipitación y temperatura.

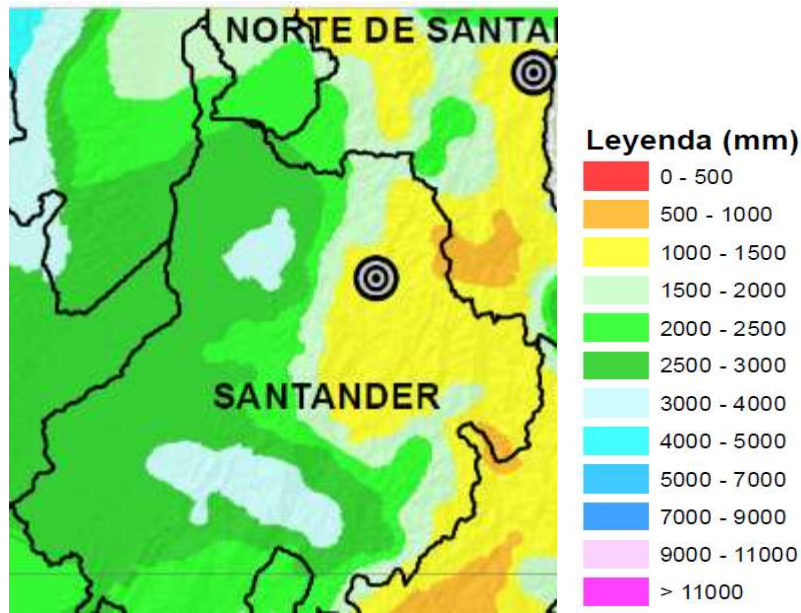
Figura 22. Fuente de información de variables hidrológicas



Fuente: (IDEAM, 2018)

La precipitación total anual de la zona donde está ubicado el laboratorio de construcciones con el prototipo de vivienda en el cual se encuentra instalado el sistema, varía entre 1000-1500 mm. (IDEAM, 2018)

Figura 23. Precipitación total anual (mm), Departamento de Santander

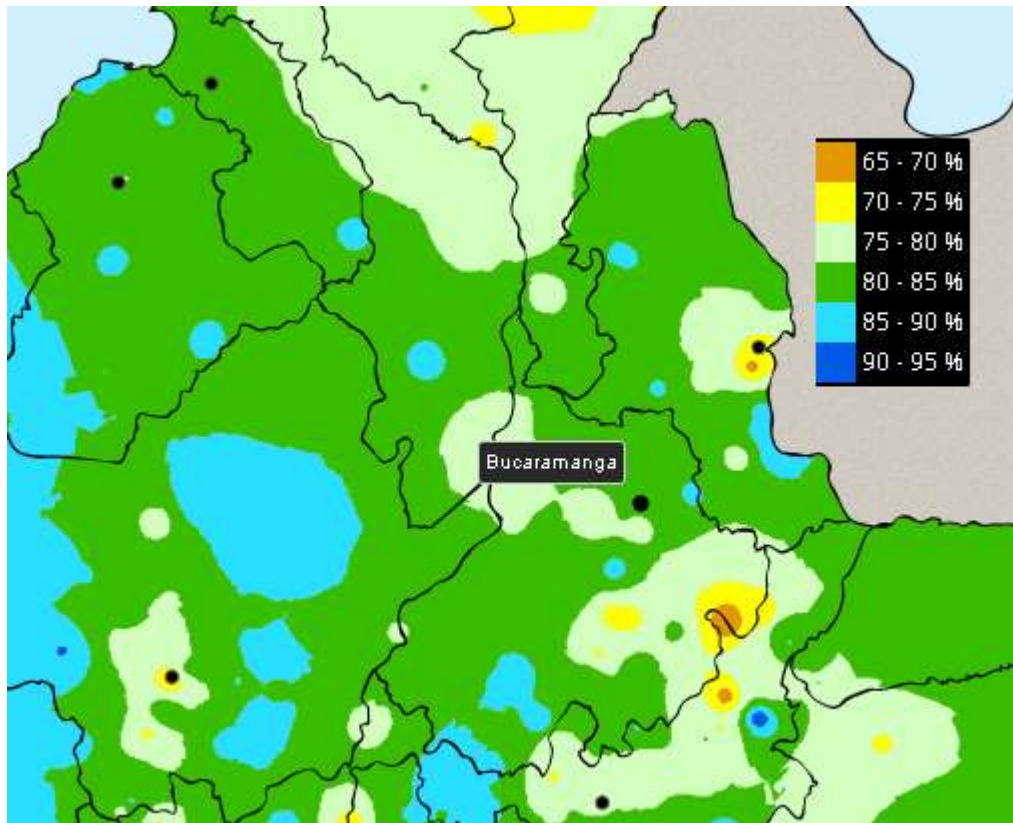


Fuente: (IDEAM, 2018)

Dicha precipitación anual puede alterarse por factores relacionados con el clima tales como el fenómeno del niño, donde las precipitaciones son escasas o el fenómeno de la niña, donde por el contrario las precipitaciones son abundantes.

Teniendo en cuenta los datos del IDEAM en este mapa se muestra la humedad relativa media anual, valor que se obtiene a partir del promedio de la humedad registrada en los doce meses del año. La humedad relativa media anual oscila entre el 80% y el 85% en gran parte del territorio santandereano. La evaporación anual en esta zona está constituida en su gran parte por 1100mm a 1300mm como se puede observar en la Figura 24.

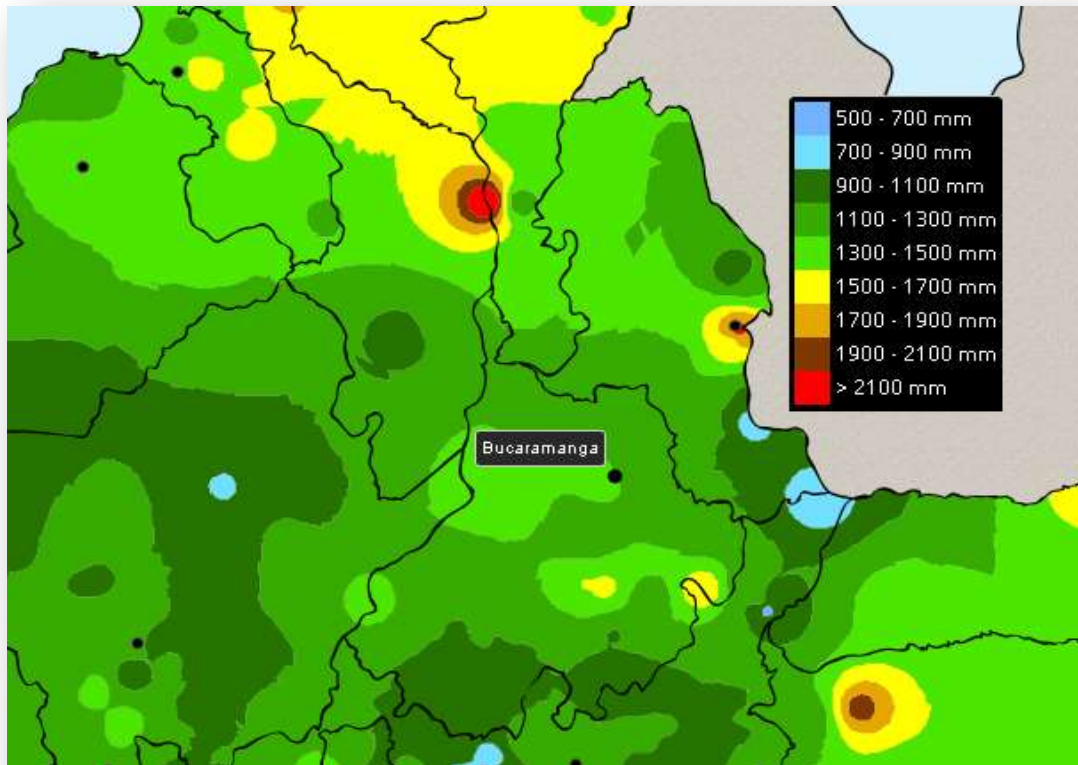
Figura 24. Humedad relativa media anual



Fuente: (IDEAM, 2018)

En este mapa se muestra la evaporación media anual, valor que se obtiene a partir del promedio de la evaporación registrada en los doce meses del año. La velocidad de evaporación aumenta con valores grandes de insolación, aire seco, fuerte velocidad del viento y terreno descubierto esta zona tiene en gran parte unos niveles de evaporación que oscilan entre 1100mm - 1300mm como se puede observar en la Figura 25 (IDEAM, 2015).

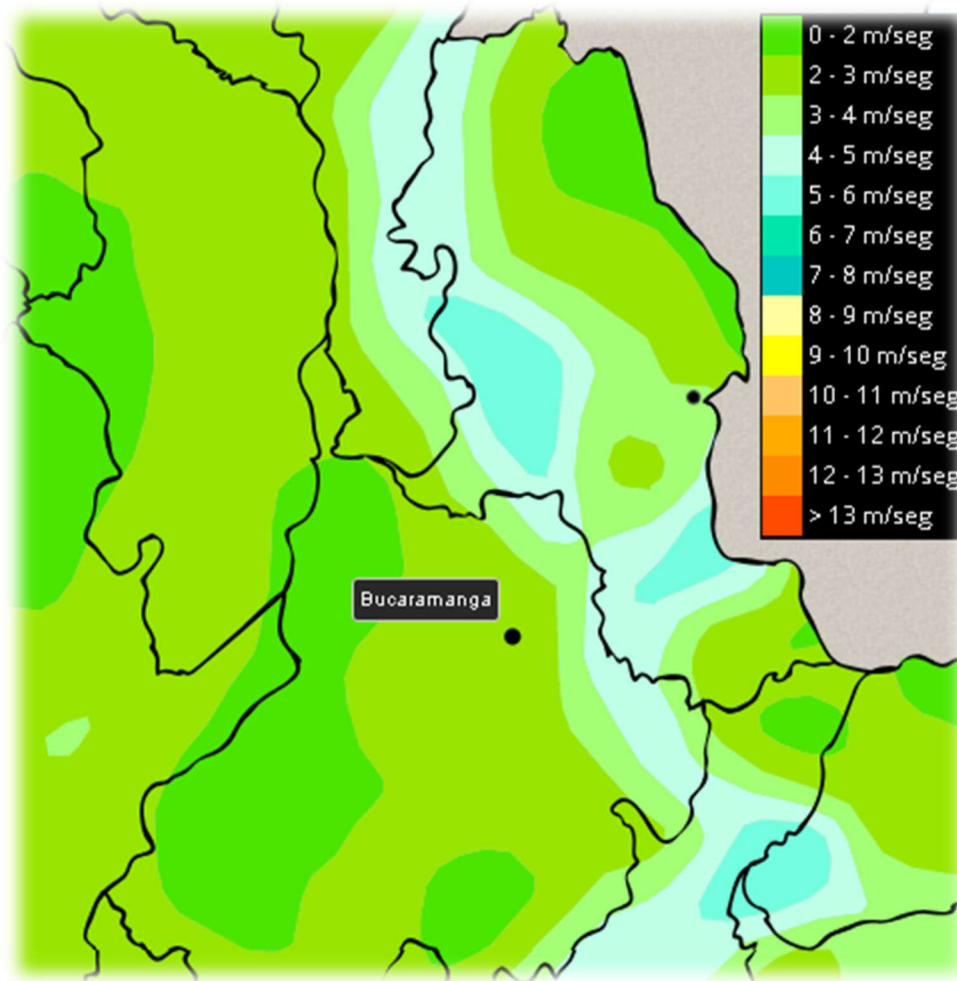
Figura 25. Evaporación anual



Fuente: (IDEAM, 2018)

En este mapa se puede visualizar la velocidad media anual de vientos tomada de las diferentes estaciones instaladas en los aeropuertos, estas muestran los horarios multianuales de la intensidad del viento que se registran valores medios en esta zona entre 2 – 3 m/seg como lo indica la Figura 26

Figura 26. Velocidad media anual de vientos



Fuente: (IDEAM, 2018)

5 Monitoreo de un sistema de recolección de agua lluvia.

5.1 Variables de medición en sistemas de recolección y aprovechamiento.

En un sistema de recolección y aprovechamiento de agua lluvia existen las diferentes variables de medición como lo son:

- **Caudal:** Es la cantidad de agua que pasa por una sección específica en un tiempo determinado, para realizar esta medición, fueron instalados los sensores de caudal o caudalímetros, en las tuberías de media y una pulgada respectivamente. Existen diferentes métodos para realizar la medida de

caudal como; Medición de caudal por el método volumétrico, para poder implementarlo es necesario un recipiente del cual se conozca su volumen o capacidad de almacenamiento y un cronometro, se realiza varias veces el método de llenado y cronometraje para tener un promedio y se calcula de la siguiente manera.

Q: Caudal en litros/segundos

V: Volumen en litros

T: Tiempo en segundos

$$Q = V/T$$

Existen diferentes variables que afectan el caudal de las fuentes de agua:

- El clima: en temporada de lluvias, el caudal incrementa, y en temporada de sequía tiende a disminuir, en este proyecto es importante saber las temporadas de lluvias y la precipitación de la zona.
- La permeabilidad del suelo: si el suelo es permeable, absorbe y retiene una gran cantidad de agua, que luego aflorará a través de los manantiales a muchos kilómetros de distancia. En suelos impermeables el agua escurre de manera superficial. En nuestro caso específico, el agua de precipitación cae al techo y luego al lugar de almacenamiento, los materiales con los que se construyó todo el sistema, nos garantiza que no habrá permeabilidad o filtración en el trayecto que recorre el agua.
- La vegetación: evita el desplazamiento rápido de las aguas por las laderas, siendo excelente para disminuir las crecidas violentas y torrenciales de los ríos y quebradas.
- El hombre: altera el comportamiento natural de los ríos y quebradas a través de la construcción de represas y embalses, de la extracción de material de aluvión, del depósito y acumulación de residuos sólidos, entre otros.

Las dos últimas variables afectan de forma indirecta el caudal que podamos captar, debido a la deforestación, a los agentes del cambio climático y todo que la presencia del hombre puede llegar a alterar el ciclo natural del agua (González & Ramírez, 2014).

- Potencia: es la velocidad en que la energía eléctrica es consumida o desarrollada en una unidad de tiempo.

La energía que se utiliza para realizar un trabajo se mide en Joule (J) y con base al concepto anterior la potencia se mide en Joule/segundo (J/Seg) y esto es equivalente a 1 Watt (W) (Ustariz Farfán, 2011).

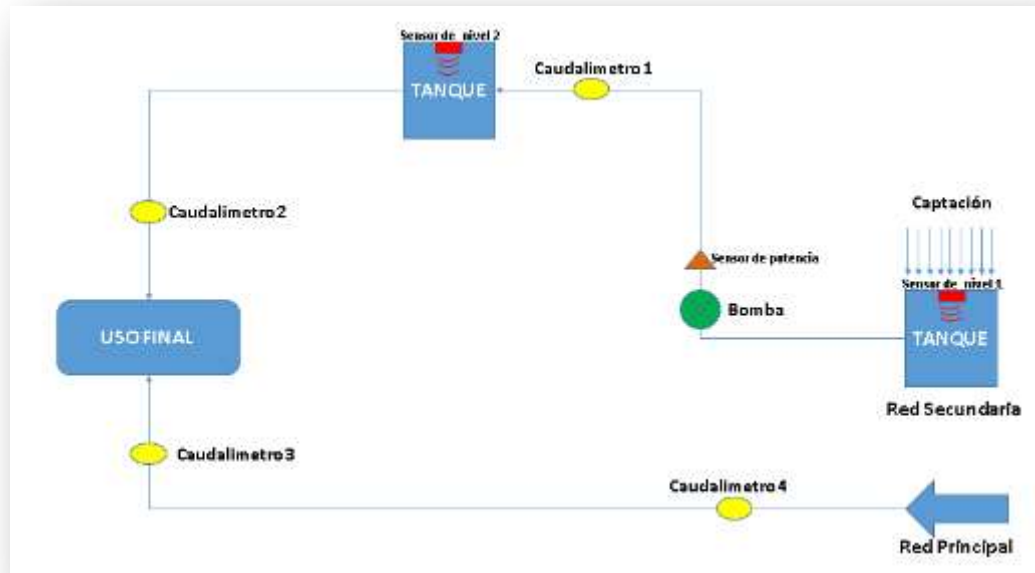
- Nivel: la medición de nivel de un líquido puede ser directa o indirecta, en el caso específico de la variable de nivel del proyecto, se pretende calcular el nivel de agua de precipitación en los tanques de almacenamiento, lo que permite calcular el volumen en dichos tanques.

Dicha medición se realiza por medio de un sensor ultrasónico, instalado en la tapa de los tanques, el sensor emite un impulso ultrasónico o una onda, a una superficie reflectante, en este caso, el agua, la cual rebota desde el agua hasta los mismos parlantes del sensor, el retardo de la capacitación de dicho eco, dependerá del nivel de agua del tanque.

5.2 Sistema de monitoreo implementado

En la Figura 27 se muestra como está organizado todo el sistema de monitoreo implementado, ilustrando cada componente y ubicación en el sistema.

Figura 27. Red de instrumentación del sistema



Fuente: Autores

La red hidráulica está comprendida por dos tipos, la red principal (agua potable) y la red secundaria (agua lluvia); Estas están conectada al mismo sistema de forma independiente.

La red está compuesta por tres caudalímetros ubicados de tal forma que puedan medir cada una de las entradas de agua disponible en el sistema. Así mismo tiene dos sensores de nivel que se encargan de medir el nivel de agua existente en cada tanque de captación y un sensor de potencia que registra el consumo de energía de la bomba.

5.2.1 Sensores de caudal.

Los sensores de caudal o también llamados caudalímetros, los cuales fueron instalados en la red hidráulica del sistema de distribución de agua lluvia y potable del prototipo de vivienda, son de la referencia YF-S201, de una, y media pulgada adaptados a la red en puntos críticos de la medición de suministro y distribución como se establece en la figura.

Figura 28. Caudalímetro YF-S201



Fuente: (Ficha técnica del dispositivo.)

Un sensor de flujo o Caudalímetro es un instrumento para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido. El caudal es la cantidad de líquido o fluido (volumen) que circula a través de una tubería por unidad de tiempo, por lo general se expresa en: litros por minutos (l/m), litros por hora (l/h) y metros cúbicos por hora (m³/h). Los caudalímetros suelen colocarse directamente en la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores, sensores de caudal, medidores de flujo o fluxómetros. (Ficha técnica del dispositivo.)

En la siguiente imagen se mostrará el proceso realizado para la instalación de las variables de caudal:

Figura 29. Instalación de Caudalímetro



Fuente: (Autores)

Se instalaron 4 caudalímetros en la red de distribución, el primero, un Caudalímetro de 1 pulgada ubicado en la oficina del segundo piso de la vivienda, este tiene como fin permitir monitorear el caudal que pasa desde el tanque de captación de agua lluvia, hasta el tanque aéreo de almacenamiento. La siguiente Figura 30 muestra el sensor instalado.

Figura 30. Caudalímetro N°1.



Fuente: Autores.

Posteriormente, se instaló un sensor de caudal, cuyo fin es monitorear el paso de agua lluvia hacia el sanitario, lavamanos, lavaplatos y llave de jardinería, esta instalación se realizó justo en la red de distribución donde existe la transición en tubería de 1" (pulgada) a $\frac{1}{2}$ " (pulgada), para esto se utilizó una reducción PVC de 1" (pulgada) a $\frac{1}{2}$ " (pulgada), un adaptador macho PVC de $\frac{1}{2}$ " (pulgada), un adaptador hembra PVC de $\frac{1}{2}$ " (pulgada), pegante PVC y un sensor de caudal de $\frac{1}{2}$ " (pulgada). La Figura 31 muestra el sensor instalado.

Figura 31. Caudalímetro N°2



Fuente: Autores.

De forma continua se instaló un sensor de caudal de $\frac{1}{2}$ " (pulgada) el cual tiene como fin monitorear el suministro de agua potable hacia el sanitario, lavamanos, lavaplatos y ducha. Este sensor se instaló en la habitación ubicada en el primer piso de la vivienda. La Figura 32 se muestra el sensor instalado.

Figura 32. Caudalímetro N°3.



Fuente: Autores.

Finalmente se instaló el ultimo sensor de caudal de 1/2" (pulgada) cuyo fin es monitorear el suministro de agua potable hacia el sanitario de la habitación. Este sensor se encuentra ubicado en el exterior de la vivienda, justo debajo de la habitación. La Figura 33 se muestra el sensor instalado.

Figura 33. Caudalímetro N°4.

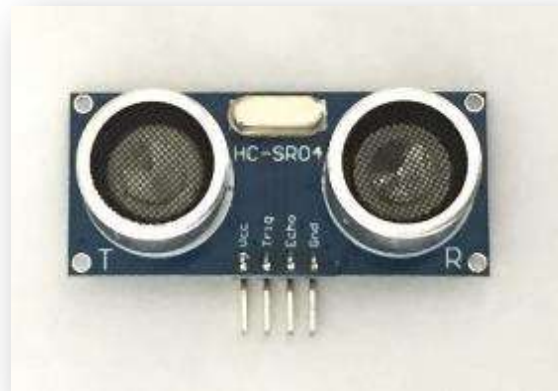


Fuente: Autores.

5.2.2 Sensor de nivel ultrasónico.

El sensor de nivel ultrasónico utilizado fue el HC-S04, instalado en las tapas de los tanques de captación de agua lluvia con el fin de medir el nivel de agua existente.

Figura 34. Ultrasónico HC-S04



Fuente: (Llamas, 2018)

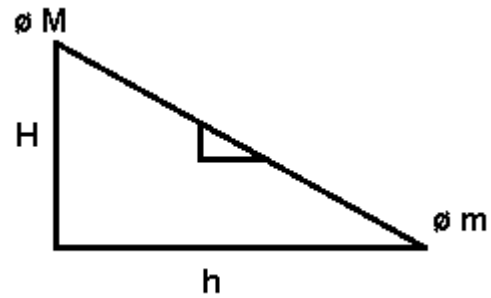
El HC-SR04 es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica necesaria para hacer la medición. funciona enviando un pulso de arranque y posteriormente se mide el tiempo de retorno del pulso, el HC-SR04 se destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio (Llamas, 2018).

El volumen de agua almacenado en el tanque se estima de forma indirecta mediante la medición de la distancia del sensor a altura de la lámina de agua, para esto se dispuso de una relación lineal entre la altura del nivel de agua y el volumen del agua almacenada en litros, estableciendo un volumen de cero (0) litros para la mayor distancia entre el sensor y la lámina cuando el tanque está completamente vacío, y un volumen máximo de llenado para la distancia entre el sensor y la lámina de agua a la altura de la tubería de desagüe.

Lo anterior se logró tomando las dimensiones internas de los tanques y planteando las relaciones volumétricas que se presentan a continuación.

Lo anterior se logró tomando las dimensiones internas de los tanques y planteando las relaciones volumétricas que se presentan en la Figura 35.

Figura 35. Cálculo de pendiente.

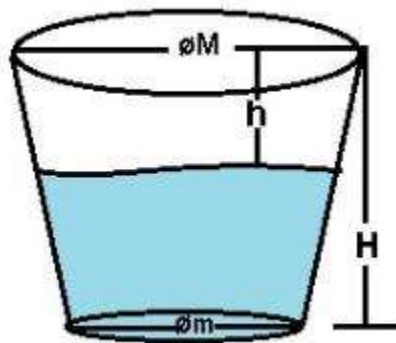


Fuente: Autores.

$$\frac{\phi M - \phi m}{H} = \text{PENDIENTE}$$

$$\phi x = \frac{\phi M - \phi m}{H} * h$$

Figura 36. Dimensión de tanque.



Fuente: Autores.

$$A = \left[\frac{h(\phi M - \phi m)}{H} \right]^2 * \frac{\pi}{4}$$

$$A = \frac{\pi}{4} * \frac{(\phi M - \phi m)^2}{H^2} * h^2$$

$$V = \int A * dh$$

$$V = \int \frac{\pi}{4} * \frac{(\phi M - \phi m)^2}{H^2} * h^2 * dh$$

$$V = \frac{\pi}{4} * \frac{(\phi M - \phi m)^2}{3H^2} * h^3 + v$$

Donde

H= altura total tanque

h= distancia desde el sensor a la lámina de agua

ϕM = diámetro tanque en la salida de suministro del agua

ϕm = diámetro tanque en la salida desagüe del agua

A= área tanque

V= volumen

Tabla 5. Datos de los tanques de captación.

	ϕM [cm]	ϕm [cm]	H [cm]	h [cm]	A [cm ²]	V [cm ³]
Tanque Aéreo	80	60	75	15	12,56	62,83
Tanque Almacenamiento	145	107	137	20	24,17	161,13

Fuente: Autores.

Existe un porcentaje de error debido a la deformación que sufre el tanque a causa de la presión hidrostática, pero es despreciado ya que es mínimo.

Previamente los sensores de nivel, fueron instalados en unas cajas acrílicas para proteger el sensor del contacto directo con el agua. Para realizar la instalación de los sensores, se retiró la tapa de ambos tanques, lo cual permitió una mejor

manipulación. Y se instalaron las cajas acrílicas que contenían los sensores, y con la ayuda de 4 tornillos se fijaron en las tapas de los tanques.

En la Figura 37 se observa la tapa de los tanques, con la caja acrílica que contiene el sensor de nivel.

Figura 37. Sensor de nivel instalado.



Fuente: Autores.

Figura 38. Ultrasonido con base en acrílico para la instalación.



Fuente: Autores.

5.2.3 Sensor de potencia.

El sensor de potencia o también llamado sensor de corriente utilizado fue el SCT-013 el cual tiene la función de medir el consumo energético de la bomba que traslada el agua lluvia del tanque de captación al tanque de aéreo de la vivienda.

Figura 39. Sensor de corriente SCT-013



Fuente: (Ficha técnica del dispositivo.)

Los sensores de la serie SCT-013 son sensores que trabajan como transformadores de corriente que circula por el cable que se desea medir, con este se puede medir una corriente hasta de 100A.

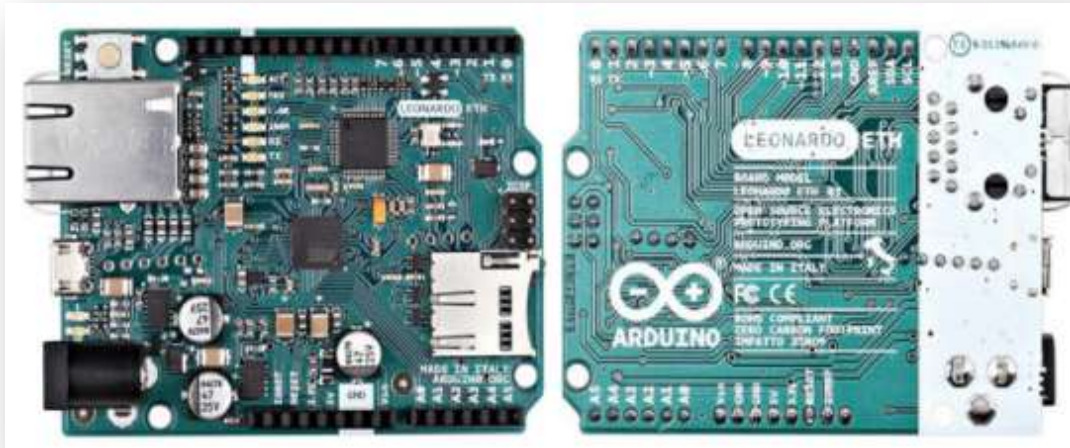
5.3 Sistema de adquisición de datos

La tarjeta utilizada es la Leonart Ethernet que es una placa de microcontrolador basada en Ethernet integrado W5500. Tiene 20 pines de entrada y salida digital, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión RJ45, un conector micro USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un Botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador y se puede conectar a una computadora con un cable USB.(Naylamp, 2018)

Se puede acceder a un lector de tarjetas micro SD integrado, que se puede usar para almacenar archivos para servir a través de la red, por medio de la biblioteca Ethernet

SD, además estas vienen incluidas por defecto en el IDE de Arduino, por lo que no hay necesidad de descargar librerías adicionales. La energía con que esta tarjeta trabaja es de 5 V y una velocidad de 10/100 Mbps. La tarjeta la podemos observar en la Figura 40. (Naylamp, 2018)

Figura 40. Tarjeta Arduino Leonard Ethernet.



Fuente: Ficha técnica del dispositivo.

5.4 Cableado estructurado del sistema de medición

Para realizar la conexión de todos los componentes del sistema de monitoreo se utilizaron cables vehiculares calibre 20mm conductores de cobre suave flexible, con aislamiento termoplástico a base de policloruro de vinilo (PVC), se utilizaron 4 diferentes colores (rojo, negro, blanco y verde). Los cables negros son el polo a tierra, los rojos son la alimentación positiva, los cables blancos y verdes son las respectivas señales o conectividad de cada sensor. Los Caudalímetros se alimentan mediante 3 conexiones, con cables, negro, rojo y blanco; los sensores de ultrasonido tienen conexión con todos los cables del sistema.

Adicional a eso se utilizó un tipo de cable diferente para la conexión del sensor de potencia calibre 2x20 polarizado de color negro y rojo ya que tiene características diferentes como se puede muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Cables y características.

Color	Calibre N°	Cantidad [m]	Valor por metro [\$]	Uso
Negro	20	60	\$ 700	Caudalímetro y Ultrasonido
Rojo	20	60	\$ 700	Caudalímetro y Ultrasonido
Blanco	20	60	\$ 700	Caudalímetro y Ultrasonido
Verde	20	20	\$ 700	Ultrasonido
Negro polarizado	2x20	15	\$ 1.000	Sensor Potencia
Rojo polarizado	2x20	15	\$ 1.000	Sensor Potencia

Fuente: Autores

Para instalar el sistema de cableado fue necesario adquirir tubería eléctrica de ½ pulgada de PVC, estas son vendidas en tubos de 3m de longitud la unidad; fueron necesario 14 tubos de PVC con sus respectivas curvas de este mismo material.

El procedimiento para llevar los cables desde los sensores a la tarjeta principal arduino fue utilizar una sonda metálica la cual tiene como función introducir los cables al interior de la tubería de PVC. Se realizó la unión de uno de los extremos de los cables con cinta aislante a la sonda e introdujo el conjunto de cables y sonda por la tubería, ya que la sonda puede recorrer sin ningún problema todas las curvas y cambios de pendientes de la tubería instalada. En la Figura 41 se muestra la instalación del cableado.

Figura 41. Instalación del cableado y tubería de PVC



Fuente: Autores

5.5 Ajuste de los sensores de medición.

A continuación, se busca demostrar la exactitud de los instrumentos utilizados para las variables de caudal en tubería de $\frac{1}{2}$ y 1 pulgada, nivel en los tanques de 2000 y 250 cm³, y la potencia consumida por la bomba. Estos instrumentos fueron ajustados realizando mediciones individuales en laboratorio, mediciones que fueron contrastadas con las magnitudes obtenidas mediante aforos manuales.

5.5.1 Calibración sensores de caudal.

Se realizó la toma de muestras por el sistema de aforo manual, esto permitió verificar la funcionalidad y exactitud de los sensores de caudal que serán instalados en la red hidráulica.

En el laboratorio de hidráulica de canales, con la máquina que permite el estudio del principio de Bernoulli, se realizaron ensayos a los sensores de caudal de 1" y $\frac{1}{2}$ " ubicados de forma horizontal y vertical, el principal objetivo era determinar el volumen de agua que fluye por la red hidráulica en función del tiempo.

El procedimiento consiste en dividir el volumen de agua registrado inicialmente por el sensor de caudal y dividirlo en el tiempo que tardó en llenarse el depósito. El resultado expresa el caudal real en litros por minuto.

Esta operación se realizó de forma reiterativa con cada uno de los sensores de caudal, para posteriormente llevar los datos a una tabla de Excel y graficarlos, teniendo como resultado una correlación en una gráfica que relaciona el caudal inicial registrado por el sensor de caudal, el caudal real calculado, y la frecuencia con la que se mantenía dicho caudal inicial durante el tiempo del ensayo.

5.5.1.1 Estimación de la constante de calibración para el Caudalímetro de 1 pulgada.

Para la calibración de los caudalímetros primero se utilizó un **K inicial** el cual es un coeficiente o constante obtenido por la ficha técnica del dispositivo, dada por los fabricantes del mismo. Al **K inicial** se le realizó un ajuste con el fin de verificar su veracidad para lo cual se tomó el promedio de los tiempos (min) divididos en el volumen (lt), obteniendo con este un caudal al que se denominó caudal real (lt/min). El **K ajustado** se obtiene a través de la división del caudal real sobre la frecuencia medida por el equipo como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Coeficiente K ajustado ensayo 1.

F[Hz]	k inicial	Q Caudalímetro [Lt/min]	Volumen [Lt]	T [Seg]	T [min]	Q real [Lt/min]	K ajustado
57	5,5	10,4	10	41,02	0,695	14,39	3,96226
		10,4		41,02			
		10,4		42,02			
		10,4		42,27			
		10,4		42,21			

Tpromedio[seg]	41,71
----------------	-------

Fuente: Autores.

Donde:

F es frecuencia del Caudalímetro.

Q Caudalímetro: es el caudal medido por el Caudalímetro.

Q real: es el caudal real del caudalímetro.

Tabla 8. Coeficiente k ajustado ensayo 2.

F[Hz]	k inicial	Q Caudalímetro [Lt/min]	Volumen [Lt]	T [Seg]	T [min]	Q real [Lt/min]	K ajustado
99	5,5	17,8	10	25,37	0,420	23,80	4,160
		17,8		24,93			
		17,8		24,77			
		17,8		26,52			
		17,8		24,46			

T promedio [seg]	25,21
------------------	-------

Fuente: Autores.

Tabla 9. Coeficiente K ajustado ensayo 3.

F[Hz]	k inicial	Q Caudalímetro [Lt/min]	Volumen [Lt]	T [Seg]	T [min]	Q real [Lt/min]	K ajustado
26	5,5	4,65	10	90,00	1,544	6,47	4,015555
		4,65		94			
		4,65		94			

T promedio [seg]	92,67
------------------	-------

Fuente: Autores.

Luego de haber realizado los tres ensayos se obtuvieron en cada uno de ellos un K ajustado, pero para poder seguir con la calibración se saca el promedio de los K ajustado que es igual a **4,046**. Este nuevo K ajustado se usa para cuantificar el **caudal real** que se obtiene del promedio de los tiempos (min) divididos en el volumen (lt).

Tabla 10. Caudal real ensayo 1.

F[Hz]	k inicial	Q caudalímetros [Lt/min]	Volumen [Lt]	T [Seg]	T [min]	Q real [Lt/min]
51	4,046	12,7	10	45,43	0,763	13,11
		12,7		45,74		
		12,7		46,1		

T promedio[seg]	45,76
-----------------	-------

Fuente: Autores.

Tabla 11. Caudal real ensayo 2.

F[Hz]	k inicial	Q caudalímetros [Lt/min]	Volumen [Lt]	T [Seg]	T [min]	Q real [Lt/min]
60	4,046	14,85	10	40,02	0,670	14,92
		14,85		40,52		
		14,85		40,12		

T promedio[seg]	40,22
-----------------	-------

Fuente: Autores**Tabla 12. Caudal real ensayo 3.**

F[Hz]	k inicial	Q caudalímetros [Lt/min]	Volumen [Lt]	T [Seg]	T [min]	Q real [Lt/min]
70	4,046	17,232	10	34,31	0,605	16,52
		17,232		34,76		
		17,232		39,87		

T promedio [seg]	36,31
------------------	-------

Fuente: Autores**Tabla 13. Caudal real ensayo 4.**

F[Hz]	k inicial	Q caudalímetros [Lt/min]	Volumen [Lt]	T [Seg]	T [min]	Q real [Lt/min]
82	4,046	20,2	10	28,90	0,490	20,42
		20,2		29,56		
		20,2		29,71		

T promedio [seg]	29,39
------------------	-------

Fuente: Autores**Tabla 14. Caudal real ensayo 5.**

F[Hz]	k inicial	Q caudalímetros [Lt/min]	Volumen [Lt]	T [Seg]	T [min]	Q real [Lt/min]
104	4,046	25,5	10	23,71	0,399	25,09
		25,5		24,27		
		25,5		23,77		

T promedio [seg]	23,92
------------------	-------

Fuente: Autores

Tabla 15. Caudal real ensayo 6.

F[Hz]	k inicial	Q caudalímetros [Lt/min]	Volumen [Lt]	T [Seg]	T [min]	Q real [Lt/min]
20	4,046	5,15	10	109	1,808	5,53
		5,15		108		

T promedio [seg]	108,5
------------------	-------

Fuente: Autores

Tabla 16. Caudal real ensayo 7.

F[Hz]	k inicial	Q caudalímetros [Lt/min]	Volumen [Lt]	T [Seg]	T [min]	Q real [Lt/min]
41	4,046	10,3	10	64,00	1,004	9,96
		10,3		59,09		
		10,3		57,56		

T promedio [seg]	60,22
------------------	-------

Fuente: Autores.

Después de realizar múltiples ensayos se organiza los valores de caudales y frecuencias obtenidas para posteriormente obtener la correlación que se necesita para verificar la exactitud de la medición como se muestra en la Tabla 17.

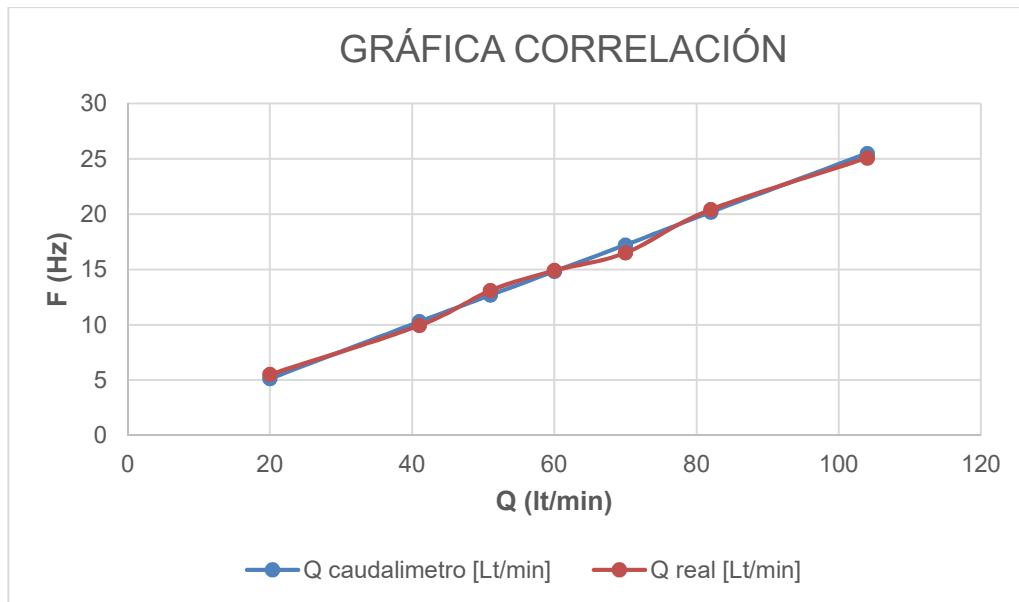
Tabla 17. Correlación de variables del caudalímetros 1 de 1 pulgada en orientación vertical.

F [Hz]	Q caudalímetros [Lt/min]	Q real [Lt/min]
20	5,15	5,53
41	10,3	9,96
51	12,7	13,11
60	14,85	14,92
70	17,232	16,52
82	20,2	20,42
104	25,5	25,09

Fuente: Autores.

Con los datos obtenidos anteriormente se realiza un ajuste en la medición del Caudalímetro.

Figura 42. Diagrama de ajuste, Caudalímetro de 1 pulgada posición vertical.



Fuente: Autores.

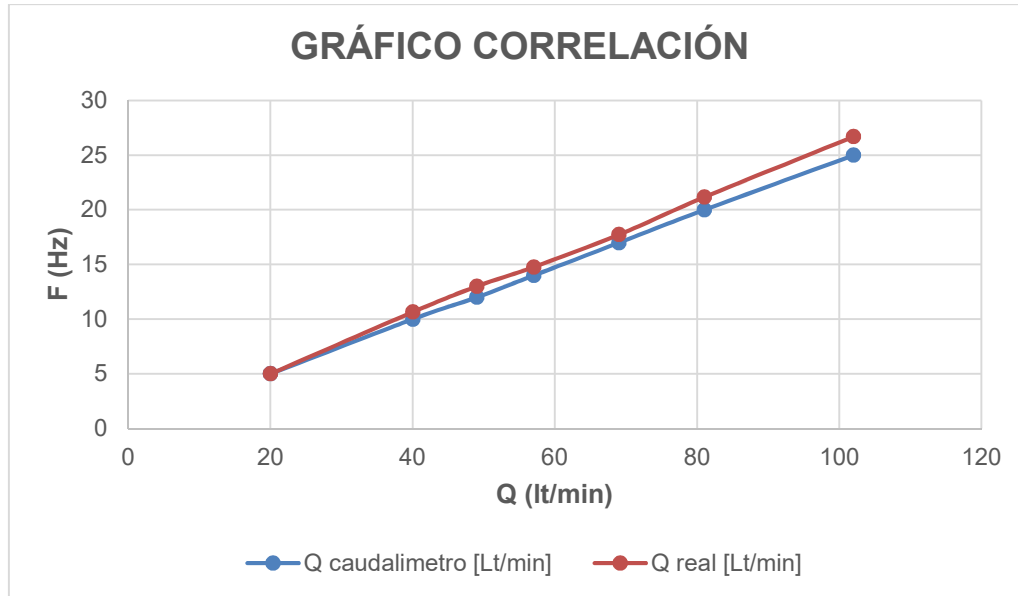
De la misma forma que se realizó el ajuste por medio de la gráfica de correlación en el Caudalímetro de 1 pulgada en posición vertical, se realiza para los demás Caudalímetro, dicho ajuste se puede evidenciar en las siguientes tablas y diagramas.

Tabla 18. Correlación de variables del Caudalímetro 1 de 1 pulgada en orientación horizontal.

F [Hz]	Q Caudalímetro [Lt/min]	Q real [Lt/min]
20	5,01	5,011
40	10,01	10,664
49	12,01	13,01
57	14,01	14,78
69	17,01	17,743
81	20,01	21,169
102	25,01	26,706

Fuente: Autores.

Figura 43. Diagrama de ajustes, caudalímetros de 1 pulgada posición horizontal.



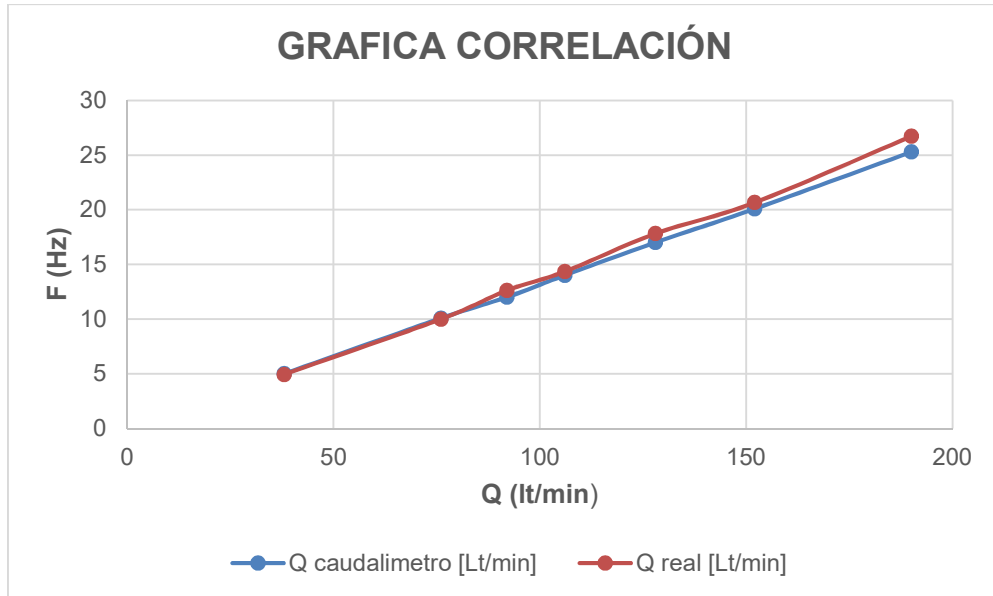
Fuente: Autores.

Tabla 19. Correlación de variables del caudalímetros 2 de media pulgada en orientación horizontal.

F [Hz]	Q caudalímetros [Lt/min]	Q real [Lt/min]
38	5,01	4,949
76	10,09	10,012
92	12,02	12,637
106	14,02	14,363
128	17,03	17,838
152	20,1	20,673
190	25,3	26,738

Fuente: Autores

Figura 44. Diagrama de ajuste, caudalímetros 2 de ½ pulgada en orientación horizontal.



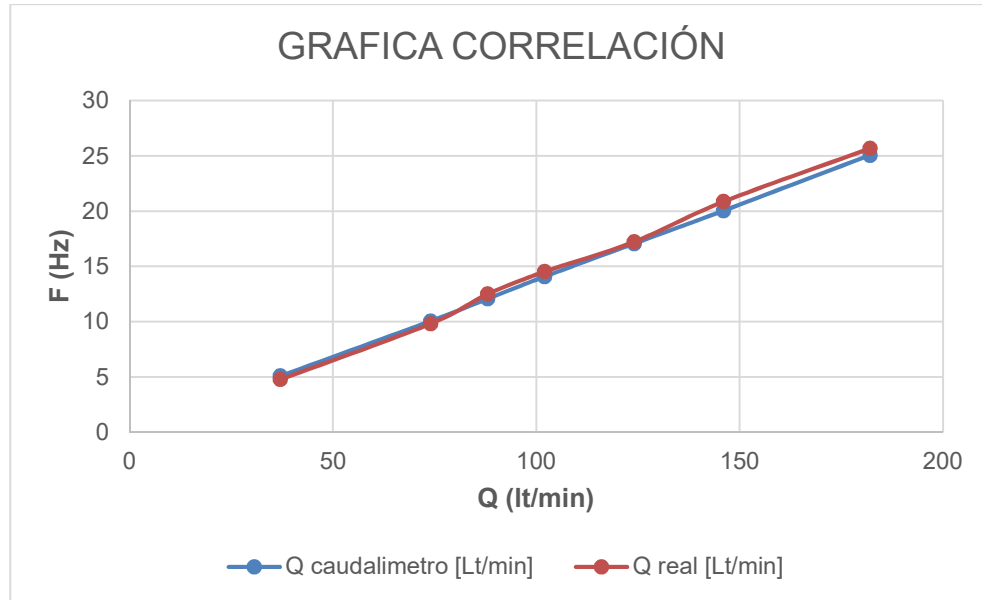
Fuente: Autores.

Tabla 20. Correlación de variables caudalímetros 3 de ½ pulgada en orientación horizontal.

F [Hz]	Q caudalímetros [Lt/min]	Q real [Lt/min]
37	5,12	4,799
74	10,08	9,844
88	12,1	12,518
102	14,1	14,548
124	17,08	17,243
146	20,05	20,872
182	25,06	25,678

Fuente: Autores.

Figura 45. Diagrama de ajuste; Caudalímetro 3 de ½ pulgada posición horizontal.



Fuente: Autores.

Nota: No fue necesario la calibración en ambos sentidos para todos los caudalímetros ya que se llegó a la conclusión con los resultados que la orientación no generaba variaciones considerables y errores como se estimaba en una posible hipótesis. Por lo tanto, los caudalímetros se pueden instalar en el laboratorio en cualquier orientación puesto que no alterara la precisión de su medición.

Figura 46. Máquina Gunt Hamburg HM 150.



Fuente: Autores.

En el laboratorio de hidráulica de canales de la Universidad pontificia bolivariana se hizo la calibración de los sensores con el debido permiso de la facultad de ingeniería civil para utilizar la máquina Gunt Hamburg HM 150 ya que proporciona el suministro de agua en un circuito cerrado, el caudal volumétrico y la recogida del agua de goteo; esta permite confiabilidad en los ensayos realizados.

Se realizó calibración de todos los caudalímetros, en sentido horizontal y vertical, como lo muestra la Figura 47.

Figura 47. Puesta en marcha, sensor de 1 pulgada en posición vertical.



Fuente: Autores.

Posterior a la calibración de los sensores de caudal se realizó la instalación de dichos sensores y a su vez se realizó el monitoreo serial del arduino IDE y la conexión del sensor de caudal nº 2 midiendo el flujo de salida en jardinería y lavaplatos.

Figura 48. Caudalímetro N°2, instalado en la salida de distribución de agua lluvia.



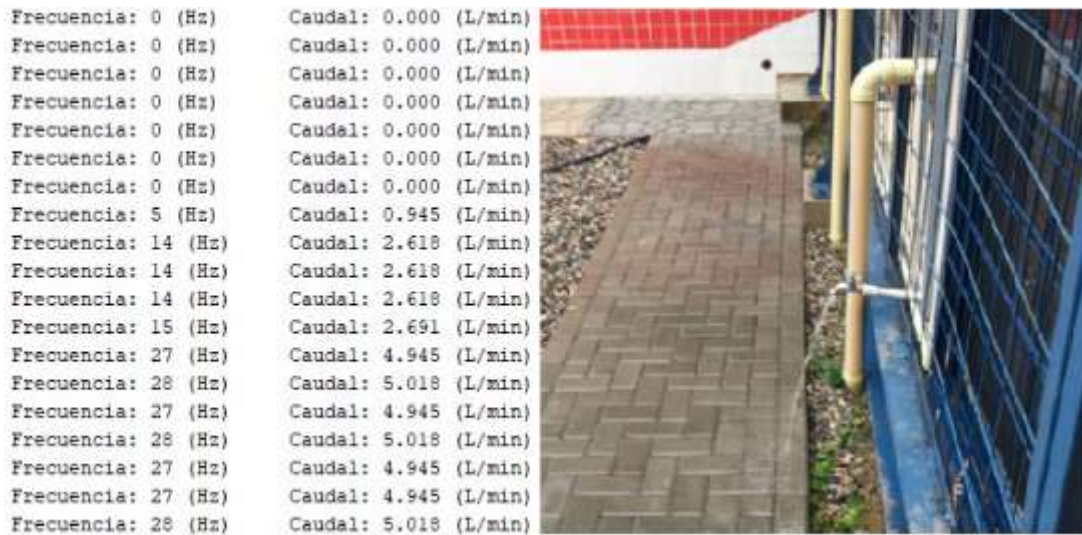
Fuente: Autores.

Figura 49. Flujo de agua lavaplatos y monitoreo Caudalímetro n°2 salida agua lluvia.



Fuente: Autores.

Figura 50. Flujo de llave de jardineria y monitoreo Caudalímetro n°2 salida agua lluvia.



Fuente: Autores.

5.5.2 Calibración de las variables de nivel

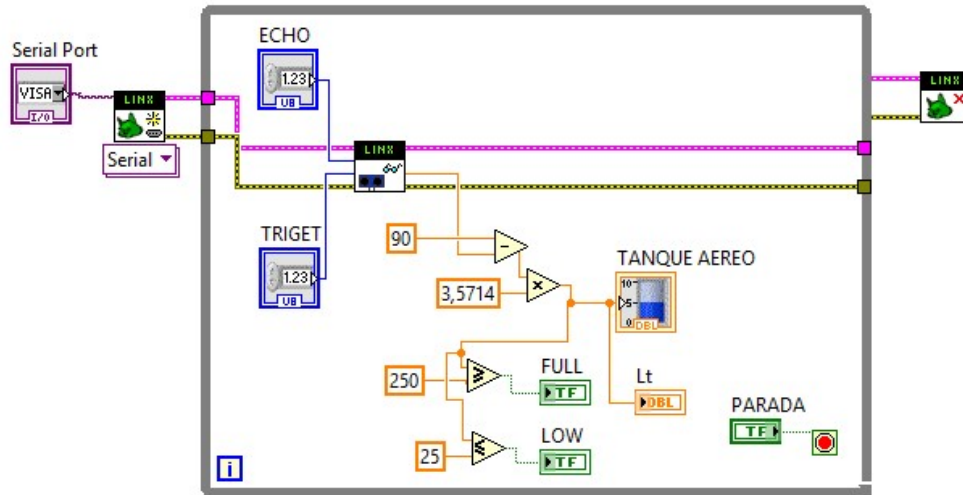
La programación G, que fue la utilizada para calibrar los sensores de nivel, se desarrolla cableando iconos gráficos en un diagrama que agrupa directamente a código máquina de modo que los procesadores del ordenador pueden ejecutarlo. Aunque se representa gráficamente en lugar de texto, el lenguaje G LabVIEW contiene los mismos conceptos de programación que se pueden encontrar en la mayoría de los lenguajes tradicionales. Este lenguaje incluye todas las construcciones estándar tales como tipos de datos, ciclos, eventos, variables, recursividad y programación orientada a objetos (Instruments, n.d.).

Este lenguaje presenta rutas de datos entre partes del programa para ser el centro de atención del desarrollador. Los nodos en LabVIEW tienen entradas, procesan datos y generan salidas. Una vez que todas las entradas de los nodos contienen un dato válido, el nodo ejecuta su lógica, produce datos de salida y pasa los datos al siguiente nodo en la secuencia del flujo de datos. Un nodo que recibe datos de otro, se puede ejecutar solo después de que el primero complete su ejecución (Instruments, n.d.).

El código G es mucho más práctico y facilita la comprensión por ingenieros ya que usualmente estos están familiarizados con la visualización y la modelización gráfica de procesos y tareas en términos de diagramas de bloque y diagramas de flujo (Instruments, n.d.).

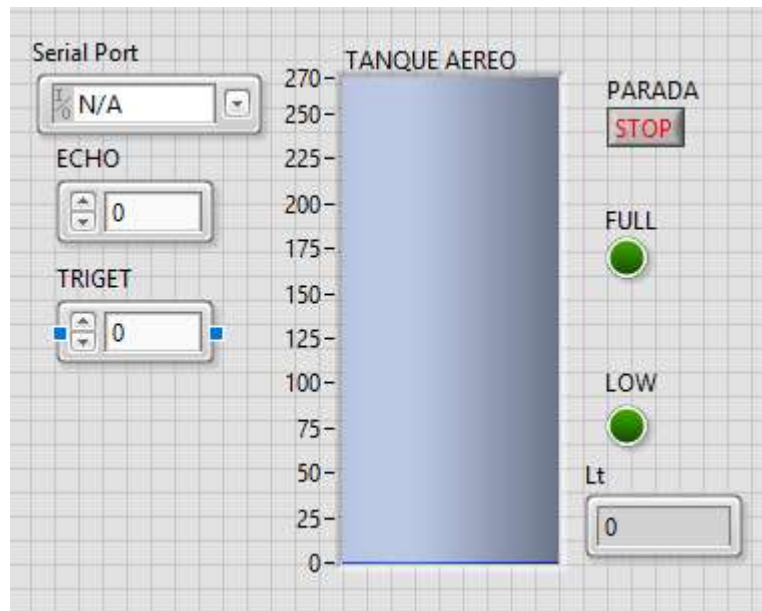
La Figura 51 describe el código para la visualización de nivel de agua en el tanque aéreo.

Figura 51. Código en labview para sensores de nivel.



Fuente: Autores.

Figura 52. Panel frontal labview para sensores de nivel.



Fuente: Autores.

Se realizó el monitoreo del software LABVIEW y la conexión del sensor ultrasónico midiendo el nivel del flujo del tanque en su capacidad máxima, medio lleno y casi vacío; también el monitoreo del software LABVIEW y la conexión del sensor

ultrasonico midiendo el nivel del flujo del tanque en su capacidad máxima, medio lleno y casi vacío.

Las siguientes imágenes son la visualización del tanque aéreo con un nivel de agua que alcanzaba casi el máximo del llenado del tanque, luego de abrir por determinado tiempo una llave, se observa el tanque aéreo con un nivel de agua medio, y, por último, con constante consumo de agua, se observa el tanque aéreo con un nivel de agua mínimo. Este además de medir el nivel de agua presente, cuenta con una alarma, que informa cuando el tanque está lleno y una alarma cuando el tanque está casi vacío.

Figura 53. Calibración ultrasonido tanque aéreo nivel máximo.



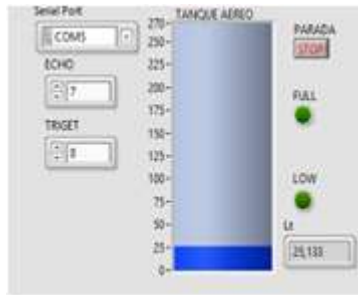
Fuente: Autores

Figura 54. Calibración ultrasonido tanque aéreo nivel medio.



Fuente: Autores

Figura 55. Calibración ultrasonido tanque aéreo nivel bajo.



Fuente: Autores

5.5.3 Calibración de las variables de energía

Posterior a la instalación se realizó el monitoreo serial del arduino IDE y la conexión del sensor de potencia midiendo la potencia consumida por la bomba y se realizó la calibración del mismo.

El sensor de potencia SCT-013 para que pueda actuar debe conectarse sin romper ni cortar el cable que se desea medir la corriente que transporta, esto porque funciona al igual que una pinza amperimétrica que tiene el núcleo partido.

Figura 56. Medición de la corriente por el sensor SCT-013.



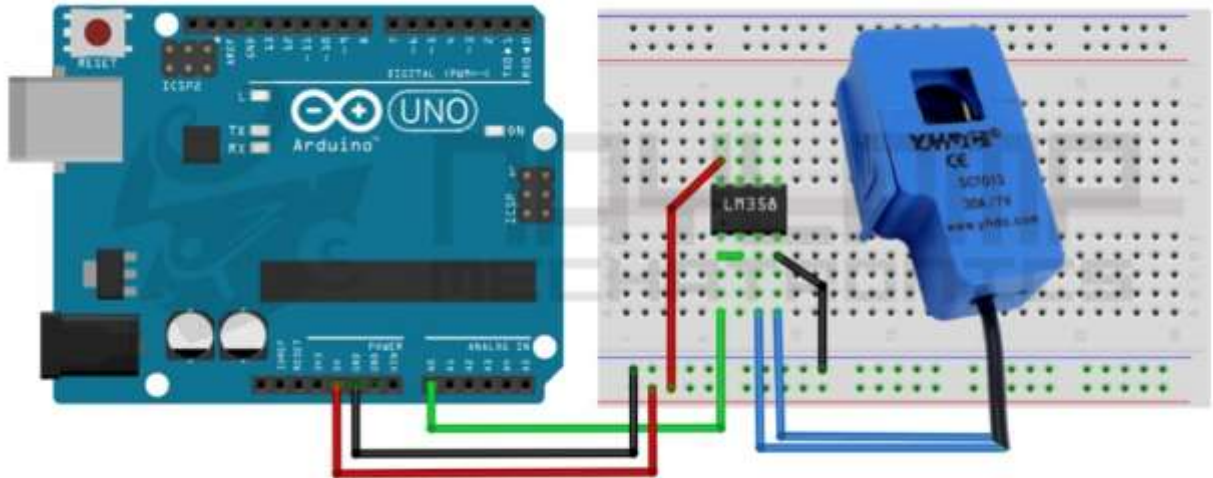
Fuente: Autores.

En la Figura 56 se muestra como el sensor SCT-013 se conecta al cable que enciende a la bomba, este cable de la bomba está conectado a una caja de interruptores donde se instaló uno independiente para el encendido y apagado manual de la bomba. El interruptor de la bomba está instalado en la misma caja

donde llegan todos los interruptores que abastecen de energía al laboratorio de construcciones de la universidad.

Para hacer la conexión del sensor a la tarjeta arduino se utilizó un cable 2x20 mm polarizado de color negro y rojo como se muestra en la Figura 57.

Figura 57. Conexión Arduino – Sensor SCT-013.



Fuente: (Mechatronics, 2018)

Los datos de la calibración y verificación de su funcionalidad fueron leídos con éxito a través del programa en el cual se registra toda la medición del sensor como se puede observar en la Figura 58.

Figura 58. Calibración sensor de potencia

Irms: 0.000A, Potencia: 0.000W	Irms: 0.000A, Potencia: 0.000W
Irms: 0.007A, Potencia: 0.625W	Irms: 0.004A, Potencia: 0.453W
Irms: 0.005A, Potencia: 0.640W	Irms: 0.000A, Potencia: 0.000W
Irms: 0.007A, Potencia: 0.667W	Irms: 0.002A, Potencia: 0.261W
Irms: 0.007A, Potencia: 0.825W	Irms: 0.009A, Potencia: 1.107W
Irms: 0.005A, Potencia: 0.640W	Irms: 0.000A, Potencia: 0.000W
Irms: 0.005A, Potencia: 0.639W	Irms: 0.000A, Potencia: 0.000W
Irms: 0.006A, Potencia: 0.690W	Irms: 0.005A, Potencia: 0.584W
Irms: 0.008A, Potencia: 0.976W	Irms: 0.003A, Potencia: 0.369W
Irms: 0.008A, Potencia: 0.978W	Irms: 0.003A, Potencia: 0.370W
Irms: 0.007A, Potencia: 0.784W	Irms: 0.004A, Potencia: 0.522W
Irms: 0.009A, Potencia: 1.044W	Irms: 0.006A, Potencia: 0.690W
Irms: 11.610A, Potencia: 1393.231W	Irms: 0.003A, Potencia: 0.369W
Irms: 2.164A, Potencia: 259.712W	Irms: 0.005A, Potencia: 0.584W
Irms: 2.174A, Potencia: 260.848W	Irms: 0.002A, Potencia: 0.261W
Irms: 2.167A, Potencia: 260.094W	Irms: 0.003A, Potencia: 0.369W
Irms: 2.172A, Potencia: 260.597W	Irms: 0.004A, Potencia: 0.452W
Irms: 2.170A, Potencia: 260.394W	Irms: 0.002A, Potencia: 0.261W
Irms: 2.165A, Potencia: 259.756W	Irms: 8.632A, Potencia: 1035.892W
Irms: 2.168A, Potencia: 260.163W	Irms: 1.069A, Potencia: 128.335W
Irms: 2.167A, Potencia: 260.049W	Irms: 1.074A, Potencia: 128.881W
Irms: 2.166A, Potencia: 259.861W	Irms: 1.071A, Potencia: 128.463W
Irms: 2.168A, Potencia: 260.171W	Irms: 1.072A, Potencia: 128.635W
Irms: 2.164A, Potencia: 259.644W	Irms: 1.075A, Potencia: 129.033W
Irms: 2.156A, Potencia: 258.704W	Irms: 1.077A, Potencia: 129.293W



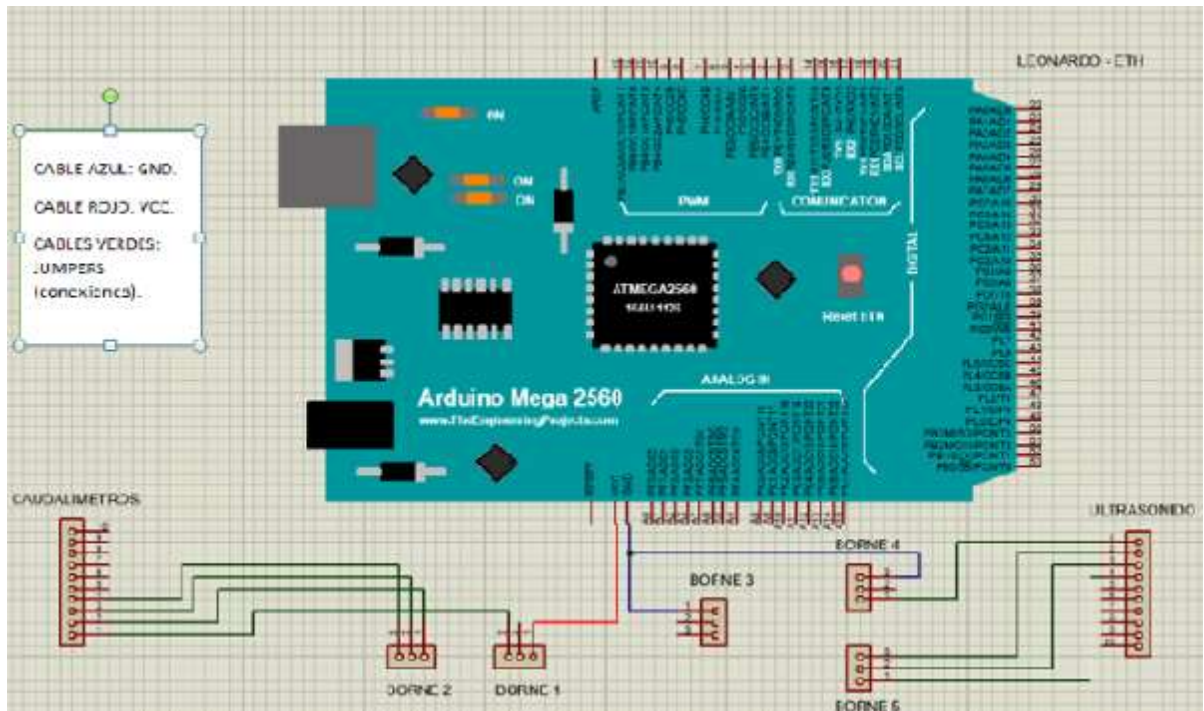
Fuente: Autores.

Se puede observar cómo funciona correctamente el sensor tomando lecturas cuando la bomba está apagada y cuando la bomba es encendida manualmente.

6 DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN POR MEDIO DEL SOFTWARE LABVIEW, PARA EL MONITOREO DE LAS VARIABLES DE CAUDAL, ENERGÍA DE LA BOMBA Y NIVEL DE AGUA EN LOS TANQUES.

A continuación, se muestra el esquema de conexiones realizadas a la tarjeta LEONARDO ETHERNET, cable azul: GND, que corresponde a tierra, cable rojo: VCC que corresponde a la alimentación positiva y cables verdes: los cuales son jumpers (conexiones).

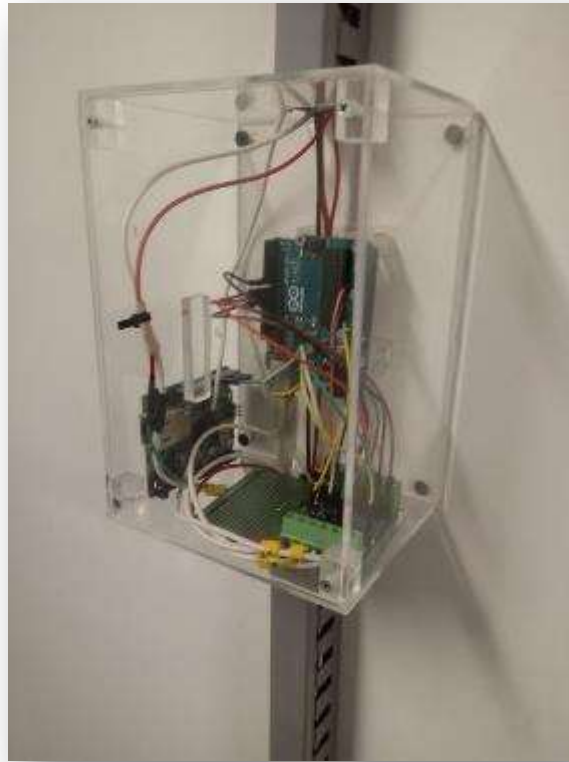
Figura 59. Esquema de conexiones



Fuente: Autores

Subsiguiente al esquema se observa la real instalación de la tarjeta, la cual se encuentra conectada a todos los sensores de nivel, caudal y potencia. Para esto fue necesario una caja en acrílico transparente y unas canaletas las cuales llevan los cables hacia esta. En la caja de acrílico se encuentran las tarjetas Leonardo y Arduino UNO y la placa de conexiones. Las lecturas realizadas por las tarjetas se suministran al software Labview por medio de una conexión USB desde las tarjetas hasta un computador donde se encuentra instalado el programa.

Figura 60. Conexiones sensores a tarjeta Leonard Ethernet en el laboratorio de la UPB

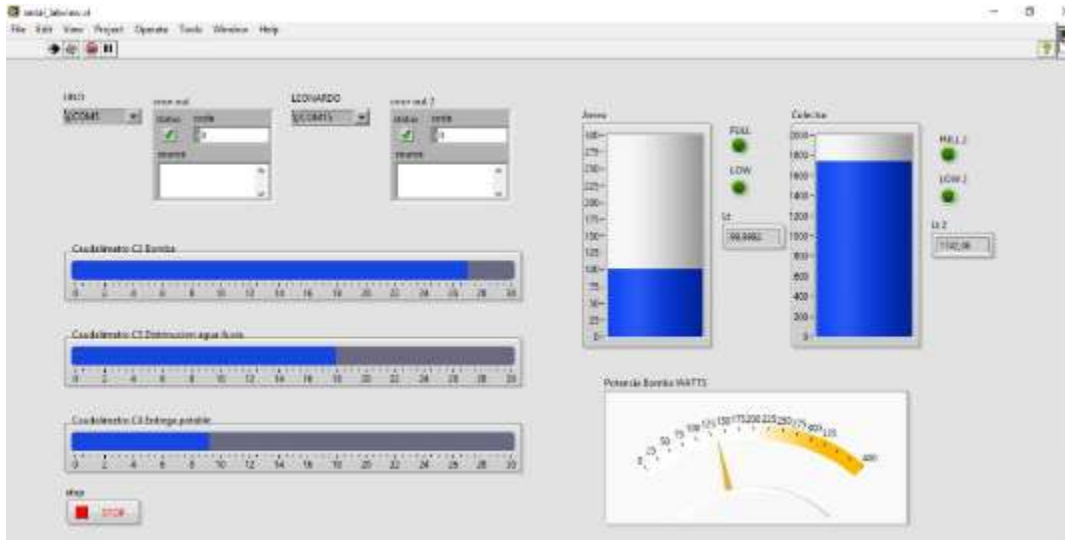


Fuente: Autores

6.1 Aplicativo de monitoreo en Labview.

A continuación, en la Figura 61 se puede observar la funcionalidad del aplicativo del sistema de monitoreo en donde se visualizan los tanques (externo y aéreo) en el proceso de llenado de agua desde un tanque a otro, además la potencia en Watts consumida por la bomba y la medición de los sensores de caudal instalados en la red de agua lluvia desde el tanque de captación externo al tanque aéreo de distribución, la red de distribución de agua lluvia, y la red de entrada de agua potable.

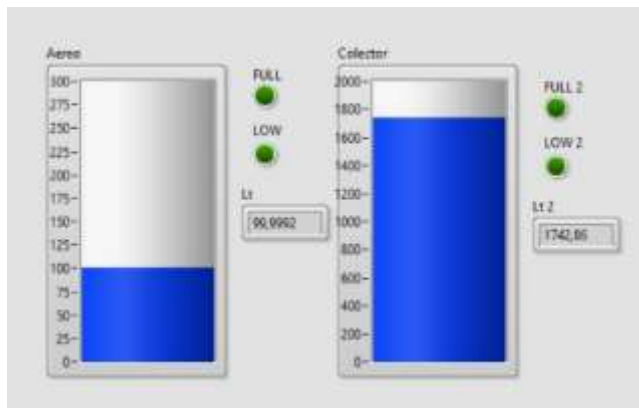
Figura 61. Aplicativo Labview.



Fuente: Autores.

Se puede observar la actividad del paso de agua lluvia de los tanques en el proceso de llenado desde el tanque externo de captación hacia el tanque aéreo que da paso al flujo de agua a la red de distribución, la medición de la potencia de la bomba y el paso del flujo del agua en los diferentes caudalímetros.

Figura 62. Visualización nivel de taques.



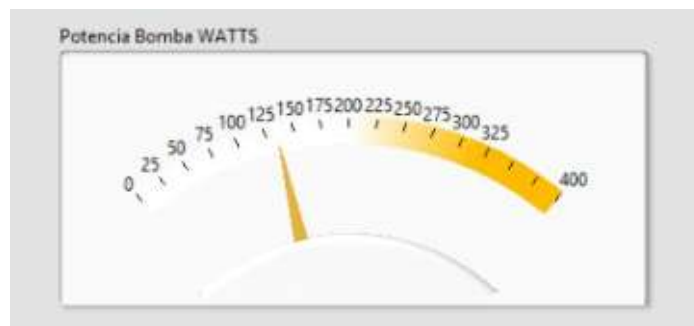
Fuente: Autores.

En esta figura se puede observar la variación de niveles de agua en los tanques de captación, en dichos tanques ocurre un flujo de agua lluvia que inicia desde el tanque exterior y llega hasta el tanque aéreo interno de la vivienda.

Esta visualización de niveles de los tanques es calculada por los sensores de nivel instalados previamente en las tapas de los mismos.

También se muestra el trabajo del sensor de potencia, gracias a este sensor se puede calcular la potencia en watts consumida por la bomba como se muestra la Figura 63, esta bomba solo trabaja cuando el tanque aéreo se encuentra casi vacío y es necesario llevar agua lluvia desde el tanque de captación exterior hasta el tanque aéreo de distribución.

Figura 63. Visualización del consumo de potencia de la bomba.



Fuente: Autores.

Así mismo, mediante la información suministrada por los caudalímetros en el momento del flujo de agua en transcurso del llenado de los tanques o mientras se abre una llave ya sea de suministro de agua potable o agua lluvia se puede observar la operatividad de los sensores instalados y la funcionalidad del sistema.

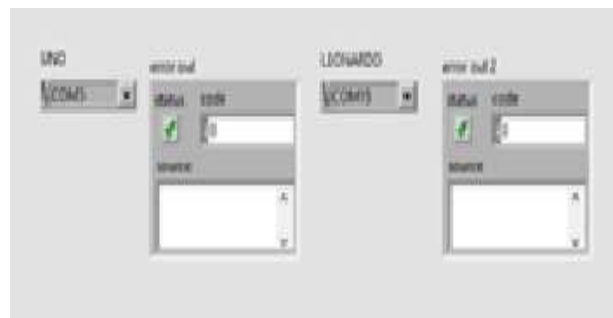
Figura 64. Visualización operatividad caudalímetros.



Fuente: Autores.

En la parte superior derecha del monitor se muestra los errores generados por las tarjetas Leonardo y uno, si en el puerto COM se observa alguna variación hay un error en el sistema, por el contrario, si no se observa variación, el sistema está funcionando correctamente.

Figura 65. Indicador errores de conexión.



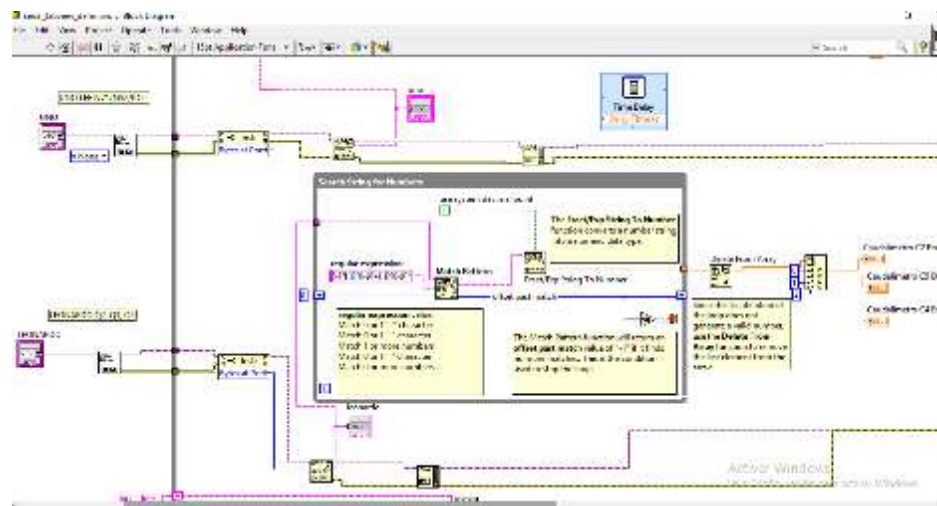
Fuente: Autores.

la aplicación anteriormente descrita fue desarrollada en el entorno de programación de Labview, esta aplicación o instrumento virtual posee una interfaz primaria gráfica, la cual permite la visualización de las variables medidas en tiempo real, para este aplicativo se ha establecido un periodo de muestreo de dos segundos; esto repercute en que los cambios en las variables que tengan un periodo de duración inferior a dos segundo no podrán ser detectadas por el sistema, sin embargo por su corta duración se consideran mínimas y se estima que no producirán un error sustancioso en la lectura de las variables durante periodos prolongados de tiempo, además este muestreo se considera adecuado porque además evita la saturación de la memoria del equipo de monitoreo, para este aplicativo se estima que un registro con una

duración de dos días producirá un archivo de Excel con un tamaño máximo de 5MB, lo cual se considera aceptable para el buen funcionamiento del sistema durante sesiones de medición y monitoreo prolongadas.

En la Figura 66 se muestra una porción del código desarrollado en Labview para el funcionamiento del aplicativo, este código no será visible al operario, sin embargo se adjunta al documento como un anexo copia digital del algoritmo para que este pueda ser reproducido de ser necesario.

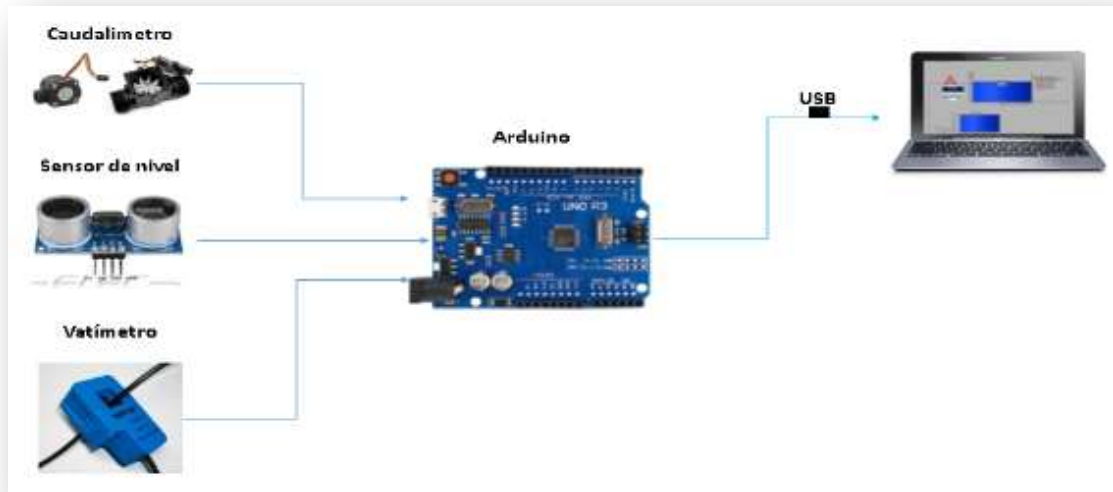
Figura 66. Porción código de aplicativo en Labview



Fuente: Autores

7 VERIFICACIÓN EL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y MONITOREO

Figura 67. Modelo de conexión de las variables de caudal, nivel y energía.



Fuente: Autores.

Para verificar la funcionalidad del sistema de captación y monitoreo fue necesario realizar un ensayo en la vivienda. Para este ensayo se requirió encender la bomba, la principal actividad de la bomba es llevar agua desde el tanque de captación o colector de agua lluvia, ubicado en la parte exterior de la vivienda hacia el tanque aéreo (hasta alcanzar su máximo volumen de captación); dicho tanque aéreo está ubicado en el segundo piso de la vivienda.

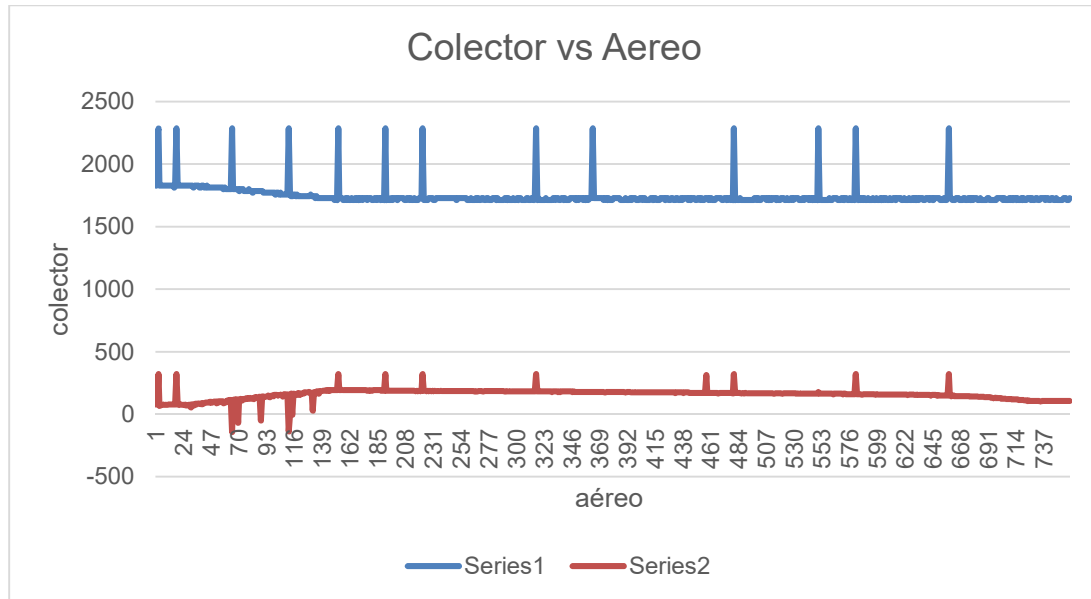
Figura 68. Imagen tabla de resultados de ensayo.

Time	dt	COLECTOR	AEREO	W bomba	Q(bomba)	Q(lluvia)	Q(potable)
22/03/2019 20:21:28,075	2,00	1829	79	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:29,075	4,00	2243	79	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:30,075	6,00	2286	321	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:31,075	8,00	1829	68	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:32,075	10,00	1829	79	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:33,075	12,00	1829	75	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:34,075	14,00	1829	79	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:35,075	16,00	1829	75	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:36,075	18,00	1829	75	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:37,075	20,00	1829	75	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:38,075	22,00	1829	79	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:39,075	24,00	1829	79	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:40,075	26,00	1829	79	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:41,075	28,00	1829	79	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:42,075	30,00	1829	79	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:43,075	32,00	1814	79	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:44,075	34,00	1829	79	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:45,075	36,00	2286	321	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:46,075	38,00	1829	79	0	0	0	0
22/03/2019 20:21:47,075	40,00	1829	75	0	0	0	0

Fuente: Autores.

En la Figura 69 se puede observar la interacción que existe mientras estuvo encendida la bomba y se realizaba el llenado del tanque aéreo. Podemos verificar que mientras la bomba está encendida trabajando, llevando agua lluvia desde el tanque de captación o colector de agua lluvia hacia el tanque aéreo, existe un cambio de volumen de agua entre estos tanques, el colector pierde volumen de agua y por el contrario el tanque aéreo aumenta volumen de agua.

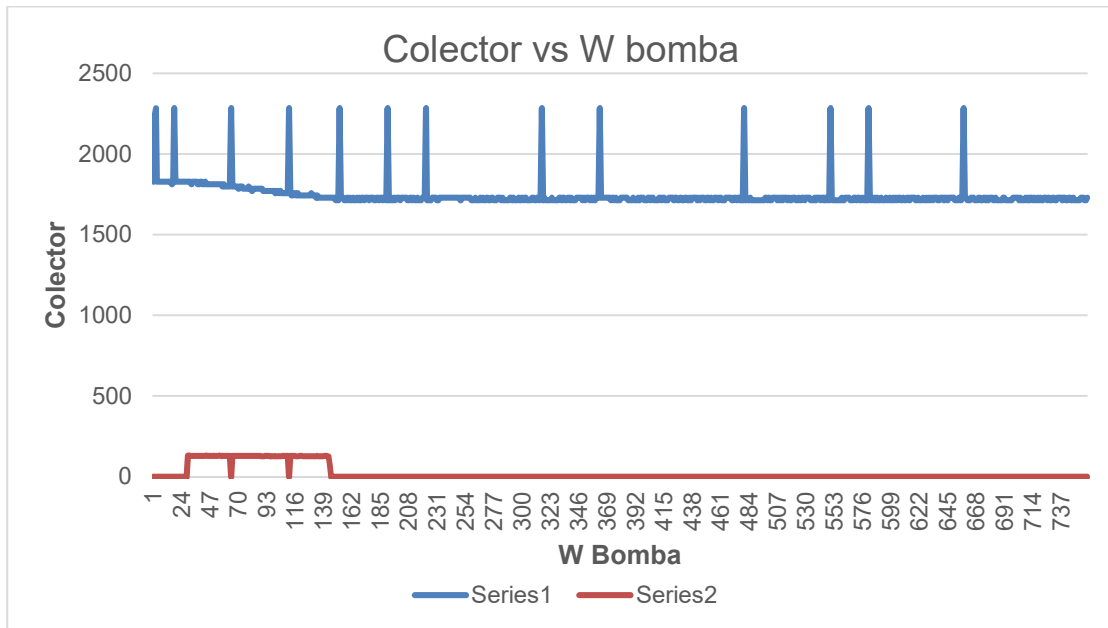
Figura 69. Grafica correlación monitoreo tanque colector vs tanque aéreo.



Fuente: Autores.

Así mismo se observa en la Figura 70, donde, mientras la bomba estuvo encendida el colector o tanque de captación pierde volumen de agua, lo que sucede en esta interacción es que, dicha agua pasó del tanque de captación o colector de agua lluvia hacia el tanque aéreo.

Figura 70. Grafica correlación colector vs trabajo de la bomba.



Fuente: Autores.

Como se observa en las figuras anteriores, existe un error de lectura entre las tarjetas y el computador, por lo cual fue necesario realizar un algoritmo que filtrara los datos y eliminara los errores en el sistema.

Figura 71. Algoritmo corrección lectura.

```

Archivo Edición Formato Ver Ayuda
%Elimina ruido de datos sistema de recolección agua lluvia
%Dario Ramirez Amaya 23/03/19
clc
clear all
dat=importarxls(1); %(t, colector, aereo, bomba, caud bomba, caud lluvia,
[r c]=size(dat);
datref=dat;
for j=2:c % no modifica la columna de dt
    for i=2:(r-1)
        delta=abs(dat(i-1,j)-dat(i+1,j));
        prom=(dat(i-1,j)+dat(i+1,j))/2;
        ls=prom+delta;
        li=prom-delta;
        if dat(i,j)<ls&&dat(i,j)>li
            else
                dat(i,j)=prom;
            end
        end
    end
end

end

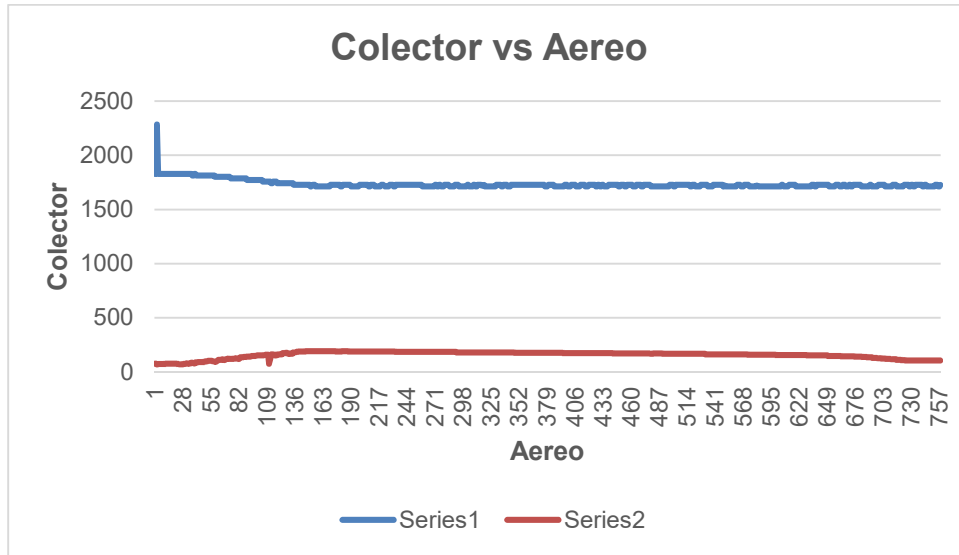
plot(dat(:,1),dat(:,[2:7]))
plot(datref(:,1),datref(:,3))
hold on
plot(dat(:,1),dat(:,3))

```

Fuente: Autores.

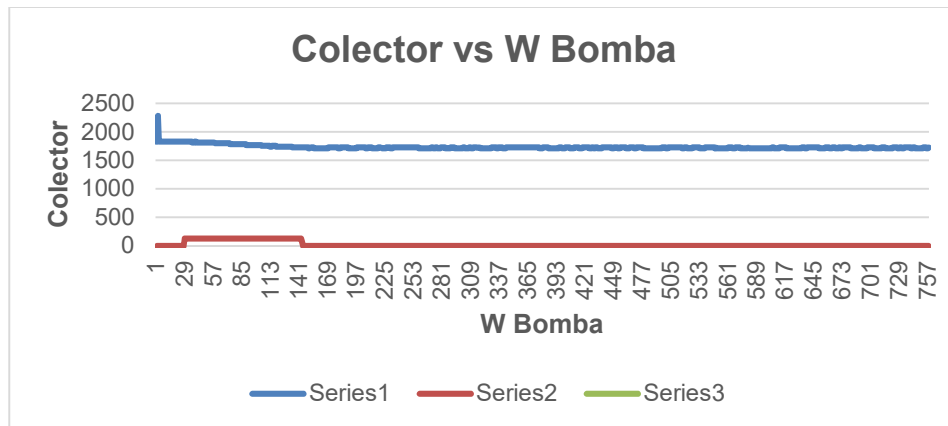
Después de filtrar los datos y corregir el error de lectura estas son las gráficas de correlación. Aquí se puede observar las gráficas sin ningún pico o error como las anteriores. Entonces se puede observar realmente la actividad del sistema.

Figura 72. Corrección gráfica correlación colector vs tanque aéreo.



Fuente: Autores.

Figura 73. Corrección gráfica correlación colector vs tanque aéreo.

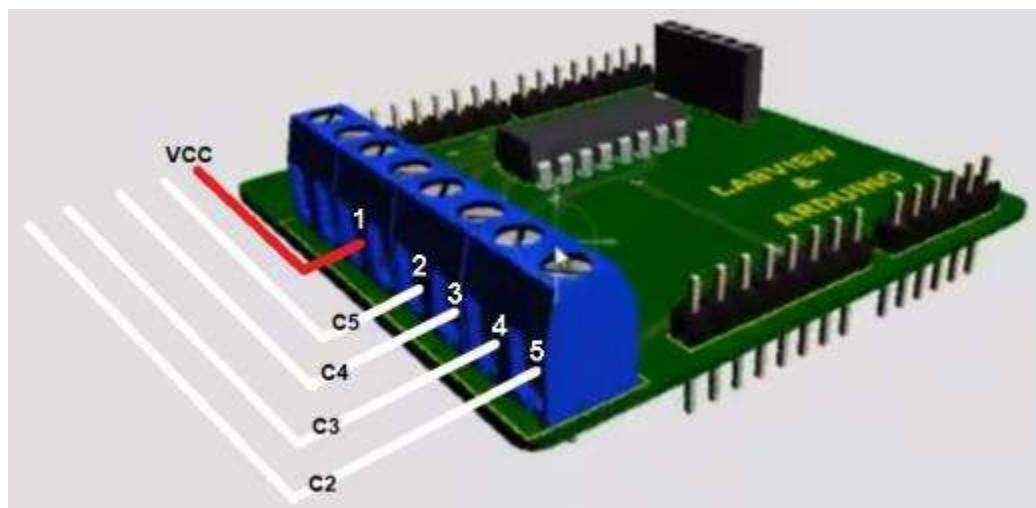


Fuente: Autores.

8 MANUAL DE OPERACIÓN Y USO PARA EL SISTEMA DE MONITOREO IMPLEMENTADO

La operatividad del sistema de monitoreo funciona de la siguiente manera, se realiza la conexión de los cables a la caja de la tarjeta arduino Ethernet, instalada en la oficina ubicada en el segundo nivel de la vivienda, se conectan cables rojos unificados, el cual es la alimentación positiva con el punto 1 del borne azul de la tarjeta, seguido se conectan los cables blancos; c5: Caudalímetro entrega de agua lluvia al punto 2, c4: Caudalímetro entrega agua potable al punto 3, c3: Caudalímetro entrega agua potable alterna al punto 4 y c2: Caudalímetro de la bomba al punto 5, estos son las señales de los sensores y se conectan al borne azul de la tarjeta como lo muestra la Figura 74.

Figura 74. Conexión caudalímetros.



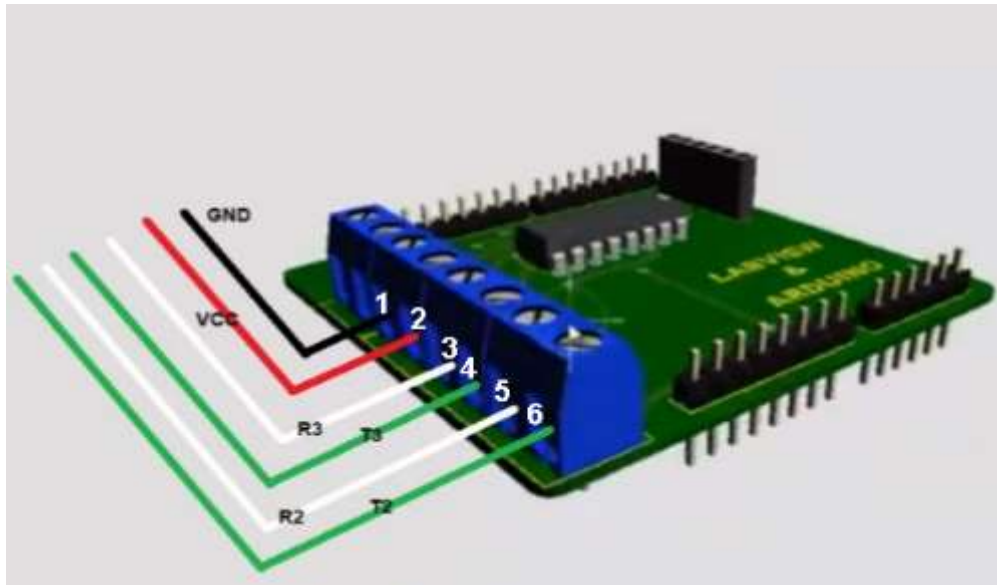
Fuente: Autores.

A continuación en el otro extremo de la tarjeta se conectan la señal de los sensores de nivel y de potencia de la siguiente forma.

El cable negro se conecta al punto 1 (GND) del borne azul de la tarjeta, este cable negro es polo a tierra de todos los sensores del sistema, seguido el cable rojo nº 2 (vcc) que es la alimentación positiva del sensor de potencia se conecta al punto 2 del borne azul de la tarjeta, el cable blanco R3 se conecta al punto 3 del borne azul de la tarjeta, este cable es la señal del sensor de nivel del tanque exterior, el cable verde

T3 se conecta al punto 4 del borne azul de la tarjeta, este cable es la señal del sensor de nivel del tanque exterior, seguido se realiza la conexión del cable blanco R2 con el punto 5 del borne azul de la tarjeta, este cable es la señal del sensor de nivel del tanque aéreo, luego se conecta el cable verde T2 al punto 6 del borne azul de la tarjeta, este cable es la señal del sensor de nivel del tanque aéreo.

Figura 75. Conexión sensor nivel – sensor de potencia.

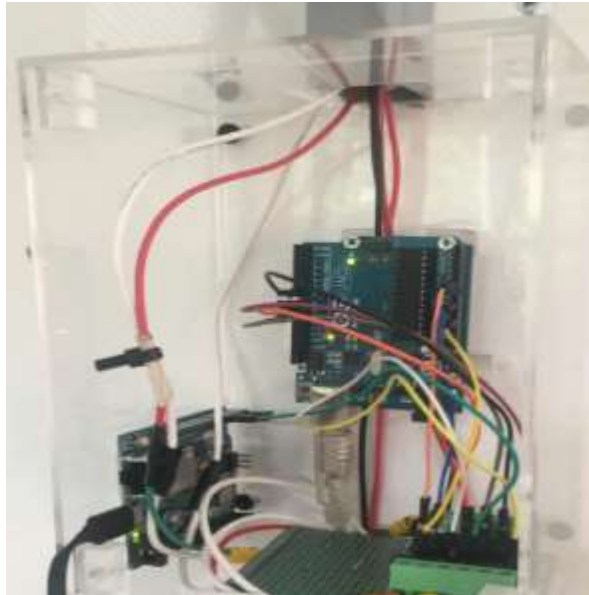


Fuente: Autores.

8.1 Procedimiento para realizar el monitoreo del sistema de reutilización de agua lluvia.

- Paso 1: se realizan las conexiones electrónicas descritas en el numeral anterior. Prestar atención en la correcta conexión de los terminales de alimentación (rojo y negro).
- Paso 2: conectar las tarjetas de adquisición (Leonardo y Arduino UNO) por medio de los terminales USB al equipo en el que se encuentre instalado el aplicativo desarrollado en Labview. Las tarjetas estarán correctamente conectadas al encenderse el led verde de alimentación en cada una, tal como se muestra en la Figura 76.

Figura 76. Verificación alimentación de tarjetas.



Fuente: Autores.

- Paso 3: al verificar la conexión entre las tarjetas de adquisición y el computador se debe acceder al menú Windows de “administrador de dispositivos”. A continuación se extenderá la pestaña “puertos (COM y LPT) y tomar nota de los puertos (COM#) que han sido asignados por el equipo a las tarjetas de adquisición.

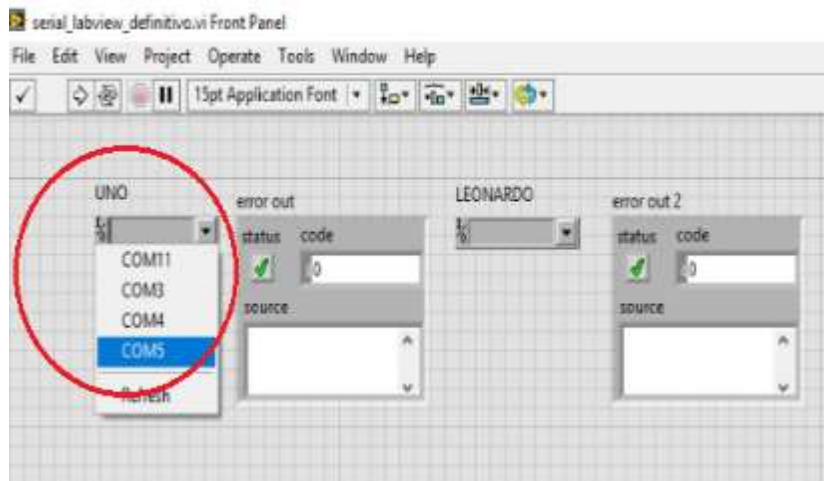
Figura 77. Verificación puerto COM y LPT



Fuente: Autores.

- Paso 4: iniciar el aplicativo Labview, una vez abierto se deben seleccionar en la pestaña desplegable I/O los puertos (COM·) correspondientes a cada tarjeta. En caso de no aparecer el puerto requerido oprima el botón “refresh” de la ventana desplegable y seleccione el puerto correcto.

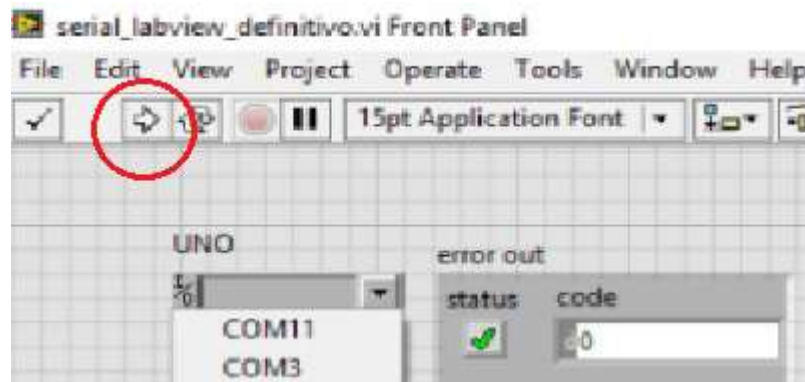
Figura 78. Ventana desplegable I/O



Fuente: Autores.

- Paso 5: oprimir el botón RUN del menú del Labview para iniciar la ejecución del aplicativo de monitoreo. En caso de desprenderse un error de comunicación verificar la conexión de las tarjetas mediante los pasos 1 a 4.

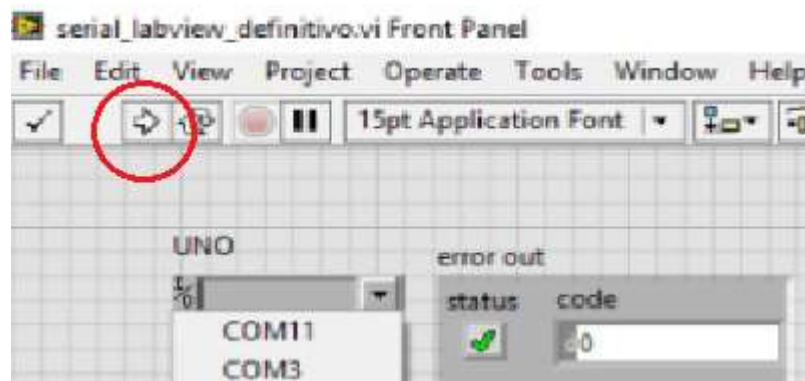
Figura 79. Vista botón RUN.



Fuente: Autores.

- Paso 6: para detener el monitoreo oprima el boto "stop" y des energice el sistema de adquisición.

Figura 80. Vista botón STOP



Fuente: Autores.

- Paso 7: posteriormente se desprenderá una ventana para guardar el archivo de registro. Se escogerá un nombre para el archivo de Excel que generará el reporte de datos y se observará como se muestra en la figura.

Figura 81. Vista reporte de datos.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Time	Untitled	Untitled 1	Untitled 2	Untitled 3	Untitled 4	Untitled!
2	22/03/2019 18:53:10,589	1829	57	0	0	0	0
3	22/03/2019 18:53:11,589	2286	61	0	0	0	0
4	22/03/2019 18:53:12,589	2286	321	0	0	0	0
5	22/03/2019 18:53:13,589	1843	54	0	0	0	0
6	22/03/2019 18:53:14,589	1843	61	0	0	0	0
7	22/03/2019 18:53:15,589	1843	61	0	0	0	0
8	22/03/2019 18:53:16,589	1843	61	0	0	0	0
9	22/03/2019 18:53:17,589	1829	54	0	0	0	0
10	22/03/2019 18:53:18,589	1843	61	0	0	0	0
11	22/03/2019 18:53:19,589	1843	61	0	0	0	0
12	22/03/2019 18:53:20,589	1843	61	0	0	0	0
13	22/03/2019 18:53:21,589	1843	61	0	0	0	0
14	22/03/2019 18:53:22,589	1829	61	0	0	0	0
15	22/03/2019 18:53:23,589	1843	54	0	0	0	0
16	22/03/2019 18:53:24,589	1843	61	0	0	0	0
17	22/03/2019 18:53:25,589	1843	61	0	0	0	0
18	22/03/2019 18:53:26,589	1843	61	0	0	0	0
19	22/03/2019 18:53:27,589	1829	61	0	0	0	0
20	22/03/2019 18:53:28,589	1843	57	0	0	0	0
21	22/03/2019 18:53:29,589	1843	54	0	0	0	0
22	22/03/2019 18:53:30,589	1843	61	0	0	0	0
23	22/03/2019 18:53:31,589	1829	57	0	0	0	0

Fuente: Autores.

Inicialmente se encuentra la columna de tiempo, en la cual evidencia la fecha exacta y la hora, luego, la columna 1 de datos muestra el volumen de colector de agua, los datos son registrados en litros, la medida 2 muestra el volumen de agua del tanque aéreo, la medida 3 muestra la potencia de la bomba en vatios, la columna 4, 5 y 6 representan los caudales en litros por minuto de la bomba, la distribución de agua lluvia y la entrada de agua potable respectivamente.

9 PRESUPUESTO

Tabla 21. Presupuesto

Cantidad	Actividades	Valor unitario	Valor parcial	%Costo directo	%Acumulado
1	Tarjeta leonart ethernet original	\$185.000	\$185.000	19%	19%
No Aplica	Gastos de envios	\$100.000	\$100.000	11%	30%
No Aplica	Gastos Adicionales	\$100.000	\$100.000	11%	40%
No Aplica	Otros (amarraderas, tornillos, accesorios electronicos, pegante de pvc, etc)	\$100.000	\$100.000	11%	51%
3	Caudalímetro YF-S201 de 1/2"	\$32.000	\$96.000	10%	61%
1	Caja en acrilico para la tarjeta	\$70.000	\$70.000	7%	68%
2	Caja en acrilico de ultrasonido	\$35.000	\$70.000	7%	76%
60	Cable de instrumentación	\$1.000	\$60.000	6%	82%
1	Caudalímetro YF-S201 de 1"	\$42.000	\$42.000	4%	86%
1	Tarjeta leonart ethernet generica	\$37.000	\$37.000	4%	90%
14	Tubería 1/2" electrica pvc	\$2.000	\$28.000	3%	93%
2	Sensor ultrasónico HC-S04	\$12.000	\$24.000	3%	96%
1	Sensor SCT-013-030	\$20.000	\$20.000	2%	98%
15	Cable de potencia 20 awg	\$1.000	\$15.000	2%	99%
10	Conexiones y accesorios	\$500	\$5.000	1%	100%
TOTAL			\$952.000		

Fuente: Autores

10 CONCLUSIONES

- El buen funcionamiento del sistema de recolección de agua lluvia y el sistema de monitoreo implementado depende de las labores de mantenimiento y limpieza, ya que existen diversos factores que pueden influir en el deterioro de los caudalímetros, sensores de nivel, la tarjeta Ethernet y demás componentes del sistema como el uso indebido de estos elementos.
- Se ha estimado el costo de un sistema funcional para realizar la medición de variables de caudal, nivel y energía en un mecanismo de reutilización de agua lluvia, este sistema de bajo costo puede ser implementado en otros mecanismos de recolección con la finalidad de hacerlos eficientes y promover el ahorro.
- Se ha estimado el costo de instalación de un sistema de monitoreo de variables de caudal, nivel y energía empleando dispositivos de bajo costo, fácil acceso y utilización que puede ser replicado en aplicaciones similares.
- El sistema de monitoreo para un mecanismo de recolección y reutilización de aguas lluvias permite obtener registros del consumo de las redes de agua potable y lluvia, los cuales con un análisis posterior permitirán el dimensionamiento de estos sistemas para el uso y zona en las cual sea implementado.

11 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda realizar un ajuste periódico de las variables de calibración de los instrumentos dentro de los códigos programados para cada una de las tarjetas Arduino Uno y Leonardo ETH.
- Se recomienda realizar la instalación del sistema de control autónomo para la transferencia del agua lluvia entre los tanques colector y aéreo, esto permitirá desarrollar actividades de monitoreo que tengan como fin cuantificar el ahorro real en el consumo del fluido que se logra con la implementación de los mecanismos de recolección y utilización de agua lluvia.
- Se recomienda mantener en circulación el agua almacenada en el colector y tanque aéreo, ya que durante el desarrollo de este proyecto se evidencio el taponamiento de las tuberías debido al sedimento y material orgánico que circula por la red de distribución de agua lluvia.

12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, I., Carmona, G., & Bojalil, J. A. (2008). Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos. *México DF, México.: International Renewable Resources Institute Mexico.*
- Avila Viviana, V. P. (2018). *IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA.* Universidad Pontificia Bolivariana-seccional Bucaramanga. Retrieved from https://biblioteca.bucaramanga.upb.edu.co/docs/digital_36951.pdf
- González, A., & Ramírez, J. D. (2014). Manual piragüero. 3-Medición del caudal. *Programa Integral Red Agua, Primer Edi, 24.*
- IDEAM, I. de H. M. y E. A. (2018). Atlas Climatológico de Colombia.
- Instruments, N. (n.d.). Los Beneficios de la Programación Gráfica en LabVIEW. Retrieved from <http://www.ni.com/es-co/innovations/white-papers/13/benefits-of-programming-graphically-in-ni-labview.html>
- Llamas, L. (2018). Ultrasonido. Retrieved from <https://www.luisllamas.es/medir-distancia-con-arduino-y-sensor-de-ultrasonidos-hc-sr04/>
- Mechatronics, N. (2018). Tutorial sensor de corriente AC no invasivo SCT-013. Retrieved from https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-s.html
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Resolución 0330 de 2017 (2017). Colombia.
- Naylamp, M. (2018). Tarjeta Arduino Leonart Ethernet. Retrieved from https://naylampmechatronics.com/arduino-shields/12-shield-ethernet-w5100.html?search_query=tarjeta+arduino+leonart+ethernet&results=265
- Palacio Castañeda, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia.
- Ruilova Tinoco, R. D. (2017). Aplicación del software epanet para la modelación de una red de distribución de agua potable para edificios.
- Suarez, J. (2017). *Evaluación con criterios de sostenibilidad de un prototipo de sistema de suministro de agua y energía enfocado a vivienda de bajo costo.* Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Bucaramanga. Retrieved from <http://biblioteca.upbbga.edu.co/material.php?idmaterial=34986>
- Suárez, J., García, M., & Mosquera, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. *VI SEREA-Seminario Iberoamericano Sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua João Pessoa (Brasil), 5.*

Swain, A. (1998). La escasez de agua: una amenaza para la seguridad mundial. *Ecología Política*, (15), 57–66.

Talebpour, M. R., Stewart, R. A., Beal, C., Dowling, B., Sharma, A., & Fane, S. (2011). Rainwater Tank End Usage and Energy Demand-A pilot study. *Water-Australian Water and Wastewater Association*, 38(1), 97.

Ustariz Farfán, A. J. (2011). Formulación de una teoría tensorial de la potencia eléctrica: aplicaciones al estudio de la calidad de la energía. Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales.

Velez Luis. (2019). Valle del Cauca contará con la primera estación de Policía del país en operar con energía solar. Colombia. Retrieved from <https://noticias.caracol.com/california/valle-del-cauca-contara-con-la-primer-estacion-de-policia-del-pais-en-operar-con-energia-solar>

Talebpour, M. R., Stewart, R. A., Beal, C., Dowling, B., Sharma, A., & Fane, S. (2011). Rainwater Tank End Usage and Energy Demand-A pilot study. *Water-Australian Water and Wastewater Association*, 38(1), 97.