

Red de sensores conectada a la nube para monitorizar el consumo de agua e incentivar el ahorro en hogares de Compostela 2 ubicado en el sector de la Zona Franca de Fontibón

GERMAN ENRIQUE CASTRO SANCHEZ

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
ESCUELA TIC  
INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES  
BOGOTA  
2021

Red de sensores conectada a la nube para monitorizar el consumo de agua e  
incentivar el ahorro en hogares de Compostela 2 ubicado en el sector de la Zona  
Franca de Fontibón

GERMAN ENRIQUE CASTRO SANCHEZ

TRABAJO DE GRADO

Luis Martínez Ballesteros

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
ESCUELA TIC  
INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES  
BOGOTA  
2021

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Ciudad y Fecha (día, mes, año) (Fecha de entrega)

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres por el apoyo y el gran esfuerzo que han realizado, al doctor Luis Ballesteros por su ayuda y a la escuela TIC.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	13
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	15
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	16
<b>4.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	16
<b>4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	16
<b>5. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	17
<b>5.1 MARCO CONCEPTUAL</b> .....	17
5.1.1 <b>Redes de sensores</b> .....	17
5.1.2 <b>Machine to machine(m2m)</b> .....	17
5.1.3 <b>Smart water</b> .....	18
5.1.4 <b>Cloud computing</b> .....	18
<b>5.2 MARCO TEORICO</b> .....	19
5.2.1 <b>Internet of things</b> .....	19
5.2.2 <b>Smart cities</b> .....	20
5.2.3 <b>Modelo de referencia iot</b> .....	20
<b>5.3 ESTADO ACTUAL</b> .....	24
<b>6. DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....	25
<b>6.1 METODOLOGÍA GENERAL</b> .....	25
<b>6.2 METODOLOGÍA POR OBJETIVO</b> .....	25
<b>7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b> .....	26
<b>8. ESTADO DEL ARTE</b> .....	27
<b>8.1 MARCO DE REFERENCIA</b> .....	27
<b>8.2 PROTOTIPOS O IMPLEMENTACIONES</b> .....	29
8.2.1 <b>Espacio global</b> .....	29
8.2.2 <b>Espacio américa</b> .....	30
8.2.3 <b>Espacio colombia</b> .....	30
<b>9. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO</b> .....	32
<b>9.1 LUGAR DE INSTALACIÓN Y MEDICIÓN</b> .....	33

9.2 Dispositivos y sensores .....	35
9.3 CONEXIÓN .....	38
9.4 PROCESAMIENTO DE DATOS .....	39
10. COMPARACIÓN DE HERRAMIENTAS .....	43
10.1 NODO DE TRANSMISIÓN .....	43
10.2 CAUDALÍMETRO .....	47
10.3 NODO DE PROCESAMIENTO .....	48
11. DISEÑO DE LA RED DE SENSORES .....	52
11.1 TOPOLOGÍA DE RED .....	52
11.2 CAPTURA Y TRANSMISIÓN DE DATOS .....	57
11.2.1 Consideraciones:.....	61
11.3 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	62
11.3.1 Comunicación entre el nodo de transmisión y el nodo de procesamiento: .....	62
11.3.2 Almacenamiento de datos:.....	64
11.3.3 Aplicación web:.....	67
11.3.4 Consideraciones .....	68
11.4 VISUALIZACIÓN DE DATOS .....	69
11.4.1 Consideraciones .....	73
12. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE SENSORES EN EL HOGAR .....	75
12.1 CONFIGURACIÓN DEL NODO DE TRANSMISIÓN: .....	75
12.2 CONFIGURACIÓN DEL NODO DE PROCESAMIENTO: .....	78
12.2.1 Captura y almacenamiento de datos:.....	79
12.2.2 Página web:.....	83
12.3 VISUALIZACIÓN DE DATOS: .....	84
12.3.1 Grafica del consumo diario total por hogar:.....	84
13. EVALUACIÓN DE LA RED DE SENSORES.....	88
13.1 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE SENSORES.....	88
13.2 IMPACTO QUE PUEDE CAUSAR LA RED DE SENSORES .....	91
13.3 PRUEBA DE LA RED DE SENSORES EN LOS HOGARES.....	93
14. RECOMENDACIONES.....	96
15. CONCLUSIONES.....	97

**BIBLIOGRAFÍA**..... 98

**ANEXOS** ..... 101

**Anexo A.** ..... 101

**Anexo B.** ..... 103

**Anexo C** ..... 112

## LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1 Comparación estado del arte .....	24
Tabla 2 Metodología por objetivo .....	25
Tabla 3 Determinación del consumo básico de agua potable .....	33
Tabla 4 Comparación lugares de instalación .....	35
Tabla 5 Ajuste porcentajes de uso .....	35
Tabla 6 Ventajas y desventajas del cloud computing, propia .....	40
Tabla 7 Comparación RPI4 y GCP .....	41
Tabla 8 Consumos por dispositivo .....	41
Tabla 9 Comparación minicomputadoras raspberryPI.....	44
Tabla 10 Comparación módulos ESP8266 .....	45
Tabla 11 Comparación placas Arduino .....	45
Tabla 12 Comparación diferentes módulos.....	46
Tabla 13 Comparación caudalímetros .....	48
Tabla 14 Comparación AWS, AZURE Y GCP.....	49
Tabla 15 comparación servicios de bases de datos .....	50
Tabla 16 detalles de consumo en duchas del hogar 1 .....	91
Tabla 17 Consumo Por estado y posible ahorro generado Hogar1 .....	92

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1 Modelo de referencia M2M, fuente: ITU-T M2M focus group .....	18
Figura 2 Modelo de referencia de 7 capas IoT, fuente: Cisco, 2014.....	21
Figura 3 Cronograma de actividades por objetivo, (fuente: Autor).....	26
Figura 4 Plano lugar de instalación, (fuente: Autor) .....	34
Figura 5 Facturación alojamiento web, después de 10 días de uso, (fuente: Autor).....	50
Figura 6 Topología red de sensores inalámbrica para medir el consumo de agua en el hogar, (fuente: Autor).....	52
Figura 7 Topología de la red local, (fuente:autor).....	53
Figura 8 Red externa, (fuente:autores) .....	54
Figura 9 Nodo de transmisión conectado al modem del hogar, (fuente: autor).....	55
Figura 10 Topología de red Final, (fuente:autor) .....	56
Figura 11 Captura de datos, (fuente: Autor).....	57
Figura 12 procesos del nodo de transmisión, (fuente: Autor) .....	58
Figura 13 Casos de uso en la captura de datos, (fuente: autor).....	58

Figura 14 Documentos Json generados cada minuto por tiempo de captura, (fuente: Autor).....	60
Figura 15 Cantidad de datos generados por mes y año por tiempo de captura, (fuente: Autor).....	60
Figura 16 Ejemplo de comunicación entre los nodos de transmisión y el nodo de procesamiento, (fuente: Autor).....	63
Figura 17 Procesos del nodo de procesamiento, (fuente: Autor).....	64
Figura 18 Diagrama Entidad-Relación red de sensores, (fuente:autor).....	65
Figura 19 Tipos de datos del documento Json generado, (fuente: autor).....	66
Figura 20 Funcionamiento de los datos, (fuente: Autor).....	67
Figura 21, Diagrama caso de uso del usuario, (fuente: Autor) .....	69
Figura 22 Interfaz Gráfica, (fuente: Autor).....	70
Figura 23 consumo total diario por hogar, (fuente: Autor) .....	71
Figura 24 Resumen por dispositivo, (fuente: Autor) .....	71
Figura 25 Estimación del costo mensual en un hogar, (fuente:Autor) .....	73
Figura 26 configuración del servidor MQTT y red wifi en el esp8266, (fuente: Autor).....	75
Figura 27 Panel de control HiveMQ, (fuente: Autor).....	76
Figura 28 Rutina encargada de capturar y publicar los datos, (fuente: Autor) .....	76
Figura 29 Caudalímetro instalado en la ducha, (fuente: Autor) .....	77
Figura 30 Resumen ducha de prueba, (fuente: Autor) .....	78
Figura 31 Proyecto creado en GCP, (fuente: Autor).....	79
Figura 32 configuración de la librería Paho-Python, (fuente: Autor) .....	80
Figura 33 Método encargado de convertir el mensaje publicado en el bróker MQTT, (fuente: Autor).....	81
Figura 34 Conexión a la base de datos por medio de PyMongo, (fuente: Autor).....	81
Figura 35 Cluster creado en mongoDB Atlas, (fuente: Autor).....	82
Figura 36 Documentos Json almacenados en la base de datos, (fuente: Autor) .....	82
Figura 37 Pagina Web, (fuente: Autor).....	83
Figura 38 Estructura HTML del estado de consumo, (fuente: Autor).....	84
Figura 39 Interfaz de MongoDB Charts, (fuente: Autor) .....	85
Figura 40 Integración de la gráfica de MongoChart en HTML, (fuente: Autor).....	85
Figura 41 Script generador de resúmenes, (fuente: Autor).....	86
Figura 42 Consumo diario, (fuente: Autor) .....	86
Figura 43 Generador de estados de consumo, (fuente: Autor).....	87
Figura 44 Conexiones Exitosas, (fuente: Autor) .....	88
Figura 45 pruebas de conexión del módulo ESP8266, (fuente: Autor) .....	89
Figura 46 Sensores instalados en las duchas 1 y 2 del hogar 1, (fuente: Autor) .....	90
Figura 47 Prueba 12 Días red de sensores, (fuente: Autor) .....	94

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo A. Código Fuente

Anexo B. Prueba de calibración

Anexo C. Encuestas

**PALABRAS CLAVE:** IoT (Internet de las cosas), Smart Water, Manejo del agua, Cloud Computing, MQTT, consumo responsable.

## 1. INTRODUCCIÓN

La escasez de agua dulce en la tierra es una de las problemáticas que pueden hacerse realidad en un futuro cercano. Para comprender mejor esta problemática, la superficie de la tierra es un 71% de agua, aunque únicamente de toda esa cantidad el 3% es agua dulce, la cual es importante para la supervivencia de los seres vivos y en el caso de los seres humanos es utilizada para convertirla en agua potable<sup>1</sup>.

Actualmente muchas personas no poseen acceso diario al servicio de agua potable, por culpa del malgasto de este recurso, entre otras razones. La creciente contaminación de agua dulce está representando un riesgo, el cual podría limitar el acceso al agua para consumo encareciendo el costo para los usuarios. Actualmente todas estas consecuencias se pueden observar en las comunidades que están asoladas del servicio de agua potable, estas comunidades actualmente sufren de enfermedades, degradación del sector, pérdida de cosechas, menor salubridad, desigualdad y carencia de alimentos<sup>2</sup>.

Para enfrentar estos problemas se puede hacer uso de las herramientas TIC, conceptos como el internet de las cosas (IoT por sus siglas en ingles), Smart Cities y Smart wáter son algunos de los conceptos utilizados para enfrentar problemáticas globales actuales, estos conceptos buscan solucionar las problemáticas actuales haciendo uso de herramientas TIC<sup>3</sup>, como es la futura escasez del agua.

En este documento se encuentra el trabajo realizado de un prototipo de una red de sensores encargada de monitorizar el consumo de agua, la formulación del problema, justificación, objetivos y la base teórica y conceptual que fundamenta este trabajo de grado. También se encuentra el diseño propuesto, las comparaciones realizadas las cuales permitieron seleccionar los servicios y dispositivos adecuados para esta red de sensores, la evaluación del funcionamiento y finalmente una evaluación sobre el impacto que podría causar la herramienta en estos hogares.

---

<sup>1</sup> a(Llad et al., 2019)

<sup>2</sup> (*Agua como bien público presentación, Duque-escobar,2019*) (Duque-Escobar, n.d.)

<sup>3</sup> a(Michahelles, 2018)

## 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Colombia es una potencia hídrica mundial, pero actualmente algunas de sus fuentes de agua dulce están siendo explotadas por los ciudadanos, las empresas y el gobierno, esta explotación está llevando a Colombia a una futura escasez de agua dulce. Como es el caso de Bogotá, a pesar de poseer la mejor infraestructura para el tratamiento de aguas del país y tener a disposición una de las fuentes hídricas más grandes del país (la laguna de chingaza) y la oferta de agua hasta el 2050 asegurada por el acueducto<sup>4</sup>, el escenario de una futura escasez es el mismo, a causa del continuo incremento de la demanda de agua en la ciudad. La gestión del recurso hídrico en ciudades grandes como Bogotá, paso de ser algo muy lineal y simple, a ser uno de los temas más complejos que existen actualmente.

Anteriormente se consideraba la demanda de los ciudadanos y los recursos disponibles para suplir la necesidad, pero el aumento constante de la población generó cambios a la hora de deducir costos y la necesidad de implementar planes sostenibles, para así poder cumplir con la demanda de los habitantes de Bogotá<sup>5</sup>.

A pesar de la continua creación de proyectos capaces de soportar la demanda actual de Bogotá, los factores que han aumentado el requerimiento de agua en la ciudad también pueden hacer que el abastecimiento sea un problema sin solución<sup>6</sup>, llevando a las fuentes hídricas a sobrepasar sus límites, aumentar los costos del servicio, limitar el servicio y en el peor de los casos generar una escasez de agua<sup>7</sup>.

Actualmente en Bogotá las herramientas que permiten medir y controlar el gasto de agua realizado, no son suficientes para reducir el malgasto del agua y mejorar los hábitos de consumo en sus habitantes, como es el caso de la facturación del agua en Bogotá, esta se genera cada 2 meses brindando un breve resumen del agua utilizada y el monto a pagar en esos 2 meses, este lapso de tiempo es muy largo, haciendo que las personas no tengan un control diario sobre este, generando un problema para los habitantes que buscan mejorar sus hábitos y evitar una futura escasez de agua<sup>8</sup>.

---

<sup>4</sup> a(Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2006)

<sup>5</sup> (LA REGIÓN HÍDRICA DE BOGOTÁ, Ernesto Guhl Nannetti, 2013) (Guhl Nannetti, 2013)

<sup>6</sup> (Otras ciudades principales de américa latina, Ernesto Alonso Idárraga, 2013) (Militar & Granada, 2013)

<sup>7</sup> a(Serna, 2018)

<sup>8</sup> (Demanda de agua en hogares urbanos y cambios tarifarios en Bogotá. Gil Mateus E, 2011) (Gil Mateus, 2011)

**¿Cómo se verá impactado el consumo del agua con la implementación de una red de sensores basada en una aplicación cloud, la cual monitorizará el gasto de agua en un hogar del conjunto residencial Compostela 2?**

### 3. JUSTIFICACIÓN

Esta propuesta de grado utiliza herramientas tecnológicas para promover el consumo responsable y consciente en las personas de los hogares, basándose en las ideas del objetivo sostenible número 12, el cual trata sobre la producción y el consumo responsable de todos los recursos naturales, con el fin de reducir el mal uso y la sobreexplotación de estos recursos<sup>9</sup>.

Actualmente los proyectos tecnológicos de cualquier escala causan impactos positivos en el desarrollo de los países, según la UIT en su artículo “Harnessing the internet of Things for the Global Development”<sup>10</sup>, nos indica que el internet de las cosas puede causar un impacto positivo en el desarrollo de países poco desarrollados, abriendo nuevas oportunidades para nuevos modelos de negocios, gestión de los recursos naturales, renovación de procesos y creación de nuevos proyectos, este artículo recalca la importancia de impulsar los proyectos IoT que buscan apoyar el crecimiento en los diferentes sectores de los países.

A partir de lo visto globalmente se plantean nuevas soluciones las cuales pueden beneficiar la búsqueda de nuevas herramientas encargadas de medir el gasto de agua en los hogares de Bogotá, ya que las actuales no son muy prácticas para incentivar el consumo responsable, estas antes ayudan a generar un mayor desperdicio de agua<sup>11</sup>.

Por consiguiente, se propone una red de sensores para monitorizar el consumo de agua, para esto se utilizará el consumo de 2 hogares del Conjunto residencial Compostela 2 ubicado en la zona franca de Fontibón, este permitirá medir el impacto que podría causar esta red de sensores, la cual usará módulos y sensores de bajo costo, y servicios cloud, con el propósito de medir el impacto que podría causar en el consumo de agua en los hogares donde se planea implementar la red de sensores.

#### ALCANCE DEL PROYECTO

Se busca diseñar y evaluar una red de sensores en base al consumo de 2 hogares del conjunto residencial Compostela 2 ubicado en la zona franca de Fontibón, únicamente se considerarán las habitaciones de estos hogares que posean un consumo elevado para realizar la instalación de prueba y evaluación de esta red, la cual se encargara de enviar los datos, procesarlos, almacenarlos y visualizarlos al usuario por medio de una aplicación web.

---

<sup>9</sup> (Johnston, 2016)

<sup>10</sup> (*Harnessing-IoT-Global-Development*, P. Biggs, 2015) (Biggs et al., 2015)

<sup>11</sup> a(Manco Silva et al., 2012)

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar una red de sensores para reunir los datos de consumo del agua y procesarlos por medio de una aplicación web, en hogares del conjunto Compostela 2 ubicado en la zona franca de Fontibón.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los requerimientos de diseño para la implementación del prototipo de la red de sensores.
- Comparar las tecnologías existentes y escoger la que se adapte a los criterios de diseño del prototipo.
- Diseñar una red de sensores y una aplicación web capaz de reunir y procesar los datos del consumo de agua reunidos.
- Implementar la red de sensores con su respectiva aplicación web donde se procesará y se visualizará el consumo de agua del hogar.
- Instalar la red de sensores con su respectiva aplicación web donde se procesará y se visualizará el consumo de agua del hogar.
- Evaluar el funcionamiento del prototipo y medir el impacto que causaría en los 2 hogares de prueba.

## 5. MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se mencionarán y explicarán diferentes conceptos y la teoría utilizada en este trabajo de grado.

### 5.1 MARCO CONCEPTUAL

#### 5.1.1 Redes de sensores

Las redes de sensores o mejor conocidas como redes de sensores inalámbricas WSN (Wireless Sensor Networks) por sus siglas en inglés, utilizan diferente hardware y software, para medir, monitorizar u otras aplicaciones que se les den a estas redes.

Cuando se habla de una red de sensores inalámbricas, se debe tener en cuenta el costo de instalación, los tipos de actuadores, la topología de red, la seguridad de la red, el tamaño, su aplicación y el rendimiento de la red.

Algunos de los más utilizados en estas redes son de tipo MEMS (Sistemas micro eléctrico mecánicos), CMOS (Semiconductor complementario de oxido metálico) y los sensores tipo LED (Diodo de emisión de luz). Además del tipo de sensores, también se debe tener en cuenta las diferentes topologías de red; actualmente las más utilizadas para redes de sensores inalámbricas son las topologías tipo estrella y malla. Estos son algunos de los aspectos básicos que deben de tener en cuenta a la hora de trabajar con una red inalámbrica de sensores. Actualmente sus precios de implementación se han reducido gracias a los avances tecnológicos, siendo ideales para implementaciones de bajo costo<sup>12</sup>.

#### 5.1.2 Machine to machine(m2m)

La comunicación maquina a máquina (M2M), permite a los dispositivos de una red intercambiar información, siendo muy útil para diferentes implementaciones algunas como: Medir, monitorizar o controlar equipos y sistemas.

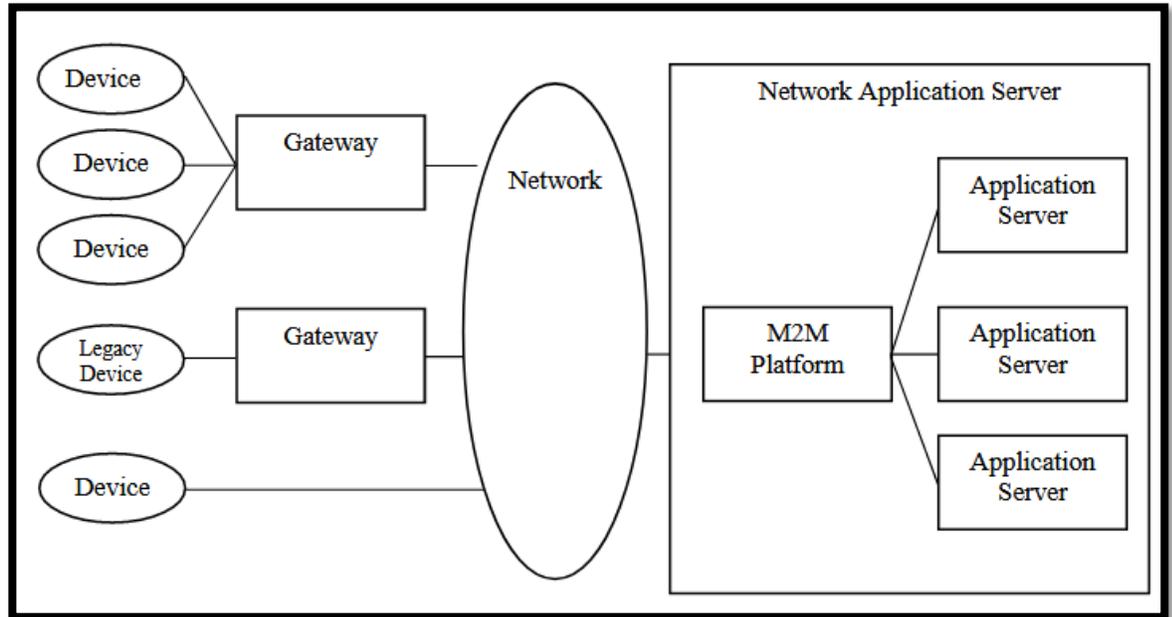
Existe un modelo de referencia brindado por la UIT, este modelo de referencia M2M está conformado por 5 componentes (Dispositivo, Gateway, Red,

---

<sup>12</sup> (The Evolution of Wireless Sensor Networks, Silicon Labs, 2004) (Labs, 2004)

Plataforma M2M y Servidor Aplicaciones), y un supercomponente (Servidor de aplicaciones de red)<sup>13</sup>, el cual se puede observar en la Figura 1.

*Modelo de referencia M2M*



*Figura 1 Modelo de referencia M2M ,fuente: ITU-T M2M focus group*

### 5.1.3 Smart water

Smart Water o mejor conocido como SWM (Smart Water Management), es una manera de utilizar las TIC para administrar el agua de una manera más óptima, utilizando aplicaciones como la obtención de datos en tiempo real y automatización de procesos, lo cual facilita la toma de decisiones a la hora de administrar el recurso hídrico. Smart Water no se limita únicamente a los gobiernos e industrias, algunas de las herramientas SWM se dividen en: Recolección de datos, análisis de datos, administración y control de datos, y finalmente la visualización de datos, estas herramientas son claves para implementar sistemas de monitorización en tiempo real, lo cual facilita la toma de decisiones, para cuidar el recurso hídrico<sup>14</sup>.

### 5.1.4 Cloud computing

La computación en la nube es un modelo on-demand que permite la conexión a un servicio de múltiples computadores configurables (redes, servidores, bases de

<sup>13</sup> (Focus group on M2M service layer, ITU-T, 2014) (ITU-T, 2014)

<sup>14</sup> (ICT'S IN Smart Water Management, ITU, 2014) (ITU, 2014)

datos, aplicaciones y servicios), facilitando el uso de estos a varias personas, haciendo que su precio sea más asequible para muchas personas, según la NIST( Instituto Nacional de Estándares y Tecnología) está compuesto por 5 características especiales (autoservicio on-demand, amplio acceso a la red, varios recursos, escalabilidad y servicios a la medida), tres modelos de negocio( Software como servicio, plataforma como servicio e infraestructura como servicio) y cuatro modelos de despliegue(Privado, comunitario, publico e hibrido)<sup>15</sup>, actualmente los prestadores de servicios cloud más grandes son AWS, GCP y Microsoft Azure.

## 5.2 MARCO TEORICO

### 5.2.1 Internet of things

El Internet de las cosas es un concepto, el cual busca conectar todo lo que se pueda al internet y cuando se refiere a todo también se tiene en cuenta a las personas, esto con el fin de llevar al internet a otro nivel, causando un gran impacto en todas las áreas del conocimiento, como la ciencia, educación, medicina, industrias, negocios y muchas otras, con el fin de utilizar de manera óptima los recursos disponibles<sup>16</sup>, el internet de las cosas es una revolución tecnológica la cual busca romper las barreras del conocimiento.

La tecnología que dio inicio al concepto del internet de las cosas es el RFID, sus inicios fueron en la segunda guerra mundial, gracias al ejército británico el cual utilizaba un sistema de identificación de enemigos para las avionetas el cual se llamaba “Identify Friend Or Foe”.

Esta tecnología trabajaba con los principios del RFID, ya que enviaba una señal y esta se regresaba inmediatamente, fue hasta los años 50's y 60's donde un grupo de científicos investigaron una forma de identificar los objetos de una manera remota, gracias a esto aparecieron las etiquetas antirrobo de los supermercados, las cuales almacenaban un bit, este bit indicaba si el objeto se compró o no, en los años 70's el gobierno de los estados unidos trabajo en una tecnología para rastrear material nuclear y esa tecnología se comercializo en los años 80's, gracias a los científicos que trabajaron y dejaron atrás el proyecto para crear el pedaje automático, el cual se utilizó y sigue utilizándose en casi todas las carreteras del mundo.

Otro gran avance para RFID fue la creación de un sistema de baja frecuencia el cual se le implantaba a las vacas para poder localizarlas, tiempo después se

---

<sup>15</sup> (The NIST Definition of Cloud Computing, Grance, 2011)(Peter Mell, 2011)

<sup>16</sup> (The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything, 2011)(Evans, 2011)

crearon más sistemas antirrobo, localizadores, sistemas de pago, sistemas de acceso y muchas más tecnologías RFID.

Fue hasta el año 1999 que Uniform Code Council, EAN, P&G y Gillette fundaron el centro Auto-ID en el Massachusetts Institute of Technology, para ubicar sensores RFID de bajo costo para hacerle seguimiento a la mercancía, 1 año después el centro Auto-ID decidió utilizar el término IoT (Internet of Things) para promover todos los conceptos e ideas que trataran acerca de conectar el mundo, aunque en 1997 la UIT utilizó el término IoT en una publicación llamada "Overview of EPC", gracias al RFID conocemos lo que es actualmente es IoT, este concepto sigue conectado al mundo de diferentes maneras, gracias a nuevos estándares, protocolos y nuevas tecnologías<sup>17</sup>.

### 5.2.2 Smart cities

Gracias al IoT surge un concepto llamado Smart Cities, gracias a los avances tecnológicos actuales ya existen Smart cities, principalmente una Smart city se basa en usar las TIC y otras tecnologías, para mejorar la calidad de vida, administrar de manera óptima los recursos naturales, mejorar los negocios, el transporte y entre muchos aspectos, gracias a este concepto se espera mitigar el impacto del crecimiento poblacional en todas las ciudades, reduciendo el malgasto de recursos naturales y brindando un mayor control sobre los recursos de las ciudades<sup>18</sup>.

### 5.2.3 Modelo de referencia iot

Seguir un modelo de referencia facilita entender los diferentes conceptos a utilizar, identificar los diferentes componentes del sistema, buscar los estándares actuales y crear una compatibilidad entre dispositivos y/o software, y finalmente facilitar la implementación de un proyecto, existen varios modelos de referencia IoT y específicamente hablaremos del modelo de 7 capas, el cual se puede observar en la Figura 2:

---

<sup>17</sup> (Towards a definition of the Internet of Things (IoT),Liau et al., 2006)(Liau et al., 2006)

<sup>18</sup> a(Saraju P. Mohanty, Uma Choppali, 2016)

### Modelo de referencia de 7 capas IoT

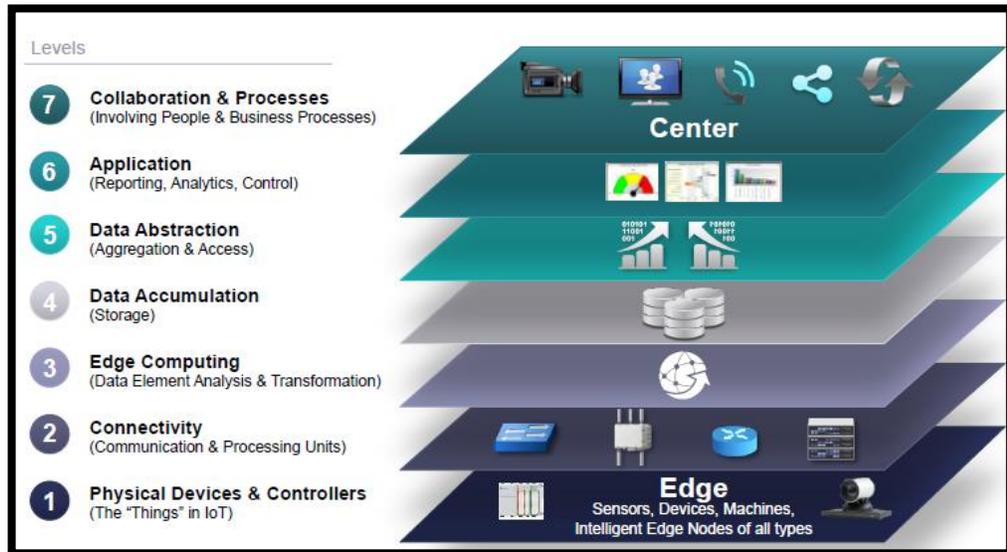


Figura 2 Modelo de referencia de 7 capas IoT, fuente: Cisco, 2014

Cada una de las capas del modelo cumplen con diferentes propósitos, estas capas son:

- La capa de objetos (Capa #1): Hace referencia a los distintos dispositivos físicos y controladores, los cuales se encargan de generar y/o enviar/recibir los datos, son los dispositivos físicos requeridos para empezar el tratamiento de datos, actualmente no existe una regla la cual limite el tamaño de los dispositivos que se pueden utilizar en esta capa, lo cual hace que la lista de los posibles dispositivos sea muy extensa, generando una cantidad casi infinita de implementaciones.
- La capa de Conectividad (Capa #2): Es la encargada de comunicar los dispositivos de la primera capa con otras capas, algunos dispositivos de la capa #1 no poseen la capacidad de utilizar los protocolos de conexión sugeridos en esta capa, lo cual es necesario utilizar un Gateway para conectarlos a la red, aunque la mayoría de los dispositivos envían la información ya sea por medio de comunicación RF, esta capa principalmente se encarga de interconectar los objetos con la capa 3.
- La capa de Edge computing (Capa #3): Es la encargada de limpiar y transformar los datos, facilitando su manipulación y comprensión para las capas superiores. El tratamiento de datos se puede realizar en el mismo

dispositivo o simplemente enviarlos a una aplicación la cual se encargará de procesar los datos.

- La capa de acumulación de datos (Capa#4): Se encarga de almacenar los datos necesarios para convertirlos en información y así en la siguiente fase facilitar su procesamiento, esta capa es muy útil para reducir el tamaño de las bases de datos si se utilizan buenas técnicas de manipulación de datos.
- La capa de abstracción de datos (Capa #5): Se ubican los procesos de verificación de la información, verificación la cual se realiza utilizando diferentes filtros y así poder determinar si la información es válida para la aplicación final, y así poder enviar la información a la aplicación y reunir los datos en una o distintas bases de datos para procesarlos y convertirlos en información necesaria para permitir el funcionamiento de la capa de aplicación.
- La capa de aplicación (Capa #6): Es una capa la cual depende de las necesidades del usuario o el negocio, esta capa se realiza el procesamiento final de los datos por lo cual es muy importante tener en cuenta como se utilizarán todos los datos procesados. Actualmente no hay un límite de aplicaciones únicamente las que los usuarios puedan crear, un ejemplo de implementación es, el control de un proceso en una fábrica. Además, si las primeras 5 capas están bien estructuradas esta capa reducirá su carga de trabajo.
- La capa de Colaboración y Procesos (Capa#7): Se incluyen a las personas o negocios, los cuales se encargarán de tomar decisiones, dependiendo de las necesidades y ajustes de las anteriores capas, dependiendo de lo establecido se tomarán diferentes decisiones, como se mencionó anteriormente existen muchas aplicaciones con este modelo de referencia IoT<sup>19</sup>.

Usar modelos de referencia puede facilitar el despliegue de un proyecto como ya se había mencionado anteriormente y facilitan la comprensión de los conceptos a utilizar en los proyectos IoT, además este modelo de referencia no se limita

---

<sup>19</sup> (Fast Innovation requires Fast IT, Cisco, 2014) (Cisco, 2014)

únicamente a negocios o industrias, también se pueden aplicar en proyectos más pequeños.

### 5.3 ESTADO ACTUAL

Actualmente existen distintas implementaciones para monitorizar el consumo de agua en diferentes escenarios, estas implementaciones son muy útiles, ya que permiten ahorrar agua, incentivar el uso responsable de agua y entender mejor los hábitos.

#### *Comparación estado del arte*

Nombre	Aspectos positivos	Aspectos negativos	Breve Descripción	Es un proyecto o Está disponible
<b>WaterCalculator</b>	- Buena Interfaz gráfica -Sencilla -Aplicación web	-No permite la conexión de sensores para monitorizar el consumo y complementar la información	Es una aplicación web la cual es capaz de calcular nuestra huella hídrica, por medio de una encuesta.	Se puede encontrar en: <a href="https://www.watercalculator.org/wfc2/complete/">https://www.watercalculator.org/wfc2/complete/</a>
<b>GreenTips</b>	-Interfaz gráfica sencilla	-Únicamente es una wiki	Es una página web al cual muestra unos consejos para ahorrar agua	Se puede encontrar en: <a href="https://www.worldwildlife.org/pages/green-tips">https://www.worldwildlife.org/pages/green-tips</a>
<b>Aquareturn</b>	-Dispositivo para ahorrar agua  -Tecnología avanzada	-No posee aplicación web/móvil -No posee interfaz de monitorización	Es un dispositivo el cual se puede instalar en el baño, para ahorrar agua mientras se calienta la ducha	Se puede encontrar en: <a href="https://www.aquareturn.com/">https://www.aquareturn.com/</a>
<b>Sistema electrónico de medición de consumo de agua potable</b>	-usa el caudalímetro  -Es una red de sensores	-Posee aplicación móvil y web, pero no supe los datos suficientes para causar un impacto en el consumo	Es un prototipo para monitorizar el consumo por medio de una aplicación web y móvil	Es un trabajo de grado, pero su documento se encuentra en: <a href="http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4297">http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4297</a>

*Tabla 1 Comparación estado del arte, (fuente: Autor)*

Como se puede observar en la tabla 1 se puede observar un análisis en el cual se encontraron aspectos positivos y negativos, una breve descripción de la implementación, el nombre y el tipo. Con este análisis se concluyó que no importa si es un dispositivo para la ducha, un sistema electrónico o una aplicación web estos generan un aporte en el consumo del agua.

## 6. DISEÑO METODOLÓGICO

### 6.1 METODOLOGÍA GENERAL

Este proyecto implemento una red de sensores la cual requirió cambios durante el desarrollo del proyecto. Para esto se utilizaron variables no exactas permitiendo dar un resultado al proyecto, también se utilizaron tecnologías existentes por lo cual no fue necesario sumergirse en una investigación sin bases. Además, se utilizó una metodología mixta permitiendo cumplir con el desarrollo del proyecto y dar una respuesta a la pregunta problema<sup>20</sup>.

### 6.2 METODOLOGÍA POR OBJETIVO

Para lograr dar respuesta a la pregunta problema, se utilizaron dos metodologías de investigación diferentes en cada objetivo como se puede observar en la tabla 2

*Metodología por objetivo*

Objetivo	¿Cómo se desarrollará este objetivo?	Tipo de metodología
Analizar los requerimientos de diseño para la implementación del prototipo de la red de sensores.	Se identificará y listaran la tecnologías, espacios y variables necesarias para iniciar el desarrollo del diseño	Cualitativa
Comparar las tecnologías existentes y escoger la que se adapte a los criterios de diseño del prototipo	Con los requerimientos básicos identificados es necesario elegir los mejores para desarrollar la implementación.	Cualitativa
Diseñar una red de sensores y una aplicación web capaz de reunir y procesar los datos del consumo de agua reunidos.	Se diseñará la red de sensores y su aplicación web con las tecnologías escogidas	Cualitativa
Implementar la red de sensores con su respectiva aplicación web donde se procesará y se visualizará el consumo de agua del hogar.	Se implementarán y configurarán las diferentes herramientas seleccionadas y diseñadas previamente	Cualitativa
Instalar la red de sensores con su respectiva aplicación web donde se procesará y se visualizará el consumo de agua del hogar.	Se implementará la red para poder evaluar su funcionamiento básico en un hogar de Compostela 2 ubicado en la zona franca de Fontibón.	Cualitativa
Evaluar el funcionamiento del prototipo y medir el impacto que causaría en los 2 hogares de prueba.	Finalmente se comparará el consumo realizado con la implementación y sin la implementación, esto será muy útil para determinar si se causó realmente un impacto	Cuantitativa

*Tabla 2 Metodología por objetivo, (fuente: Autor)*

Como se puede observar en la figura 3, se encuentra el cronograma de actividades por objetivo.

<sup>20</sup> (Hernandez Sampieri et al., 2010).

## 7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

*Cronograma de actividades por objetivo*

TAREAS POR OBJETIVO	SEMANA													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Analizar los requerimientos de diseño para la implementación del prototipo de la red de sensores.</b>														
Realizar el marco teórico y conceptual	.	.	.	.										
Realizar el estado del arte	.	.	.	.										
Investigar sobre marcos de referencia y proyectos similares				.	.	.								
Conocer las exigencias de los dueños de los hogares				.	.	.								
Definir los componentes de la red de sensores				.	.	.								
Identificar los aspectos claves para la selección de los componentes de la red				.	.	.								
Identificar los lugares donde se medirá el consumo				.	.	.								
Identificar los aspectos claves de los servicios cloud				.	.	.								
<b>Comparar las tecnologías existentes y escoger la que se adapte a los criterios de diseño del prototipo</b>														
Seleccionar las herramientas tecnológicas en base a los requerimientos establecidos						.	.							
Comparar los diferentes servicios, fabricantes y tecnologías a utilizar						.	.							
Hallar componentes compatibles para la red de sensores						.	.							
Verificar las exigencias de los dueños de los hogares						.	.							
<b>Diseñar una red de sensores y una aplicación web capaz de reunir y procesar los datos del consumo de agua reunidos.</b>														
Crear la topología a utilizar en la red de sensores			.	.	.	.	.	.						
Determinar las funciones de los nodos de transmisión y el nodo de procesamiento			.	.	.	.	.	.						
Determinar las funciones de la aplicación web			.	.	.	.	.	.						
Diseñar la interfaz gráfica de la aplicación			.	.	.	.	.	.						
<b>Implementar la red de sensores con su respectiva aplicación web donde se procesará y se visualizará el consumo de agua del hogar.</b>														
Conectar la aplicación web a la base de datos						.	.	.	.					
Conectar los nodos de procesamiento al Broker MQTT						.	.	.	.					
Conectar la aplicación web al Broker MQTT						.	.	.	.					
Almacenar los datos capturados por la aplicación web en una base de datos						.	.	.	.					
Realizar pruebas de desarrollo local						.	.	.	.					
Desplegar la aplicación web a un servicio cloud PaaS						.	.	.	.					
Realizar pruebas de envío de datos desde el nodo de procesamiento a la base de datos						.	.	.	.					
<b>Instalar la red de sensores con su respectiva aplicación web donde se procesará y se visualizará el consumo de agua del hogar</b>														
Conectar el caudalímetro a un dispositivo del hogar								.	.	.				
Conectar el nodo de transmisión al broker de despliegue								.	.	.				
Realizar pruebas de calibración para la captura del consumo de agua								.	.	.				
Verificar la visualización de los datos generados por los caudalímetros por medio de la aplicación web								.	.	.				
Capturar datos de consumo en diferentes lugares								.	.	.				
<b>Evaluar el funcionamiento del prototipo y medir el impacto que causaría en los 2 hogares de prueba</b>														
Realizar un cuestionario para verificar la facilidad de uso del prototipo									.	.	.			
Comprobar el estado de la aplicación web									.	.	.	.	.	.
Generar estados de consumo de agua									.	.	.	.	.	.
Visualizar el consumo del día y mensual de cada dispositivo conectado a la red									.	.	.	.	.	.
Identificar el impacto causado por la implementación de la red de sensores en los hogares									.	.	.	.	.	.
Concluir el impacto causado por la implementación									.	.	.	.	.	.

*Figura 3 Cronograma de actividades por objetivo, (fuente: Autor)*

## 8. ESTADO DEL ARTE

La investigación acerca de proyectos similares a este trabajo de grado propuesto es útil para contextualizar y enriquecer la propuesta, este capítulo se dividirá en 2 secciones las cuales mostrarán un marco de referencia y las diferentes implementaciones realizadas a nivel internacional, continental y nacional<sup>21</sup>.

Recordemos que un estado del arte busca documentar diferentes trabajos realizados por personas o compañías y así analizar como trataron la temática similar a nuestro trabajo de grado, que técnicas utilizaron o desarrollaron y que problemas actuales<sup>22</sup>.

### 8.1 MARCO DE REFERENCIA

#### **Título: Smart Water: A guide to Ensuring a Successful Mobile IoT Deployment**

Este documento fue publicado el 2017 por el Global System for Mobile Association, en el cual explican la importancia de los proyectos encargados de administrar y optimizar el consumo del agua en espacios amplios tales como grandes ciudades, grandes empresas o un país entero, también recomiendan que los sectores domésticos, comerciales e industriales deben ampliar sus capacidades IoT, lo cual les puede brindar un beneficio muy grande tales como: reducir el consumo, controlar las fugas y reducir el costo del servicio.

En el documento demuestra la importancia de tener en cuenta la gestión y el valor que tiene los proyectos Smart water, en este tipo de proyectos se debe identificar el consumidor, la utilidad, la regulación y los factores externos. Cuando hablamos de consumidores se debe tener en cuenta el tipo de consumidor, su consumo, su facturación y la tecnología a utilizar. Cuando se habla de utilidades se considera la distribución del agua y los datos; la calidad del servicio y del agua; y finalmente el compromiso con el cliente (servicios siempre disponibles, capacidad de la red y muchos otros).

Cuando se menciona la regulación se consideran los parámetros legales establecidos en ese lugar, la tecnología disponible en el momento y la regulación de precios del agua brindados ya sea por el gobierno local o las compañías encargadas.

---

<sup>21</sup> a(Castrillón, 2019)

<sup>22</sup> a(Castrillón, 2019)

Los factores externos se deben considerar también ya que la industria del agua está viviendo una gran transformación y una gran amenaza por culpa del cambio climático y la futura envases del agua dulce, aunque con este tipo de proyectos se está combatiendo de mejor manera estas amenazas ya que los datos en tiempo real ayudaran a los gobiernos tomar decisiones de acuerdo a lo establecido en cuanto sus políticas públicas, además de la amenaza del cambio climático hablan de otros dos factores externos los cuales no son amenazas, pero pueden impactar de manera positiva a este tipo de proyectos los cuales son la tecnología la cual se encuentra en constante desarrollo y a futuro permite desarrollar mejores proyectos a un menor precio; y finalmente el descubrimiento de nuevas fuentes de agua en la cual tienen en cuenta proyectos como la reutilización de agua y el reciclaje del agua.

En el documento GSMA recomienda que todos estos proyectos deben estar planeados a largo plazo ya que se busca manejar de manera efectiva el recurso hídrico el cual es limitado. Existen 4 categorías clave para medir el rendimiento de este tipo de proyectos las cuales son:

- La primera categoría: Es el uso del agua, en la cual se tiene en cuenta preguntas claves para conocer el consumo realizado por persona, propiedades y sectores, facilitando a los gobiernos y/o empresas los datos en tiempo real acerca del uso del agua y así facilitar la toma de decisiones.
- La segunda categoría: Tiene en cuenta el manejo del agua, la cual tiene en cuenta factores claves tales como: la escasez del agua en ese momento, la calidad del agua y la reducción de mantenimientos gracias a la implementación de proyectos Smart water.
- La tercera categoría: Tiene en cuenta el compromiso con el cliente, cuánto dinero ahorro en su recibo, cuánta agua reutilizo y si es necesario tomar acciones con ese cliente en caso de consumir mucha agua, y finalmente en la última categoría se tienen en cuenta los factores tecnológicos los cuales son muy útiles para medir la calidad del servicio, la calidad de experiencia del usuario, la calidad de la red y la cobertura brindada por el proyecto

Todos estos son KPI's que sugiere GSMA a la hora de implementar un proyecto Smart Water ya sea para una industria, una ciudad o simplemente una casa<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup> (Smart water: A Guide to Ensuring a Sucesful Mobile IoT Deployment. GSMA, 2017) (GSMA, 2017)

Este marco de referencia creado por GSMA es muy útil brindando los aspectos claves que se deben tener en cuenta a la hora de implementar un proyecto tipo Smart Water, usar marcos de referencia facilita la implementación de un proyecto.

## 8.2 PROTOTIPOS O IMPLEMENTACIONES

### 8.2.1 Espacio global

#### **Título: IoT and Cloud Computing based Smart Water Metering System**

Este documento fue publicado en el 2020, sus autores son hindúes, los cuales son: Aritra Ray y Shreemoyee Goswami, ellos proponen un sistema de medición de agua, es un proyecto basado en el concepto de Smart Water, ellos también utilizan tecnologías IoT y la tecnología Cloud Computing, primero analizaron el aumento del consumo de agua al pasar de los años y determinaron el consumo de agua per cápita en algunas de las ciudades más importantes de la india. India siendo uno de los países más poblados del mundo ellos proponen sistemas de medición inteligentes ya que estos permiten ahorrar agua y facilitar la detección de fugas.

Actualmente las implementaciones Smart water son más económicas, ellos usan un módulo nodemcu esp-8266, el cual permite conectar el flujómetro YF-S201, el módulo nodemcu es el encargado de enviar los datos de consumo a una plataforma cloud llamada ThingSpeak, en esta plataforma se almacenan los datos, se procesan y visualizan al usuario, además alertan al usuario cuando el consumo es más alto.

También crearon un modelo el cual permite que sea autosostenible, los módulos esp8266 poseen un voltaje de 3.3V lo cual permite usar un panel solar económico el cual le brindara la energía necesaria y la autonomía suficiente. Este proyecto muestra la ventaja de usar servicios cloud y el gran potencial de los proyectos Smart water<sup>24</sup>.

En esta implementación realizada por dos estudiantes de la india, se evidencia la importancia de utilizar servicios cloud para este tipo de proyectos, ya que estos servicios facilitan la administración de los datos y la reducción de costos a la hora de implementar estos proyectos.

---

<sup>24</sup> (IoT and Computing bases Smart Water Metering System. Ray,a & Goswami,S. 2020)(Ray & Goswami, 2020)

### 8.2.2 Espacio américa

#### **Título: Smart Water Management System using the Microcontroller ZR16S08 as IoT Solution**

Este documento fue publicado en el 2019. sus autores son brasileños, los cuales son: Michel R. Machado, Tiago Ribas Junior, Michele R. Silva y Juan B. Martins, en el documento proponen un sistema de monitoreo del agua, es un proyecto basado en el concepto de Smart Water, usan el microcontrolador ZR16S08 el cual es de bajo costo y está diseñado especialmente para controlar nodos inalámbricos, aunque ellos lo adoptaron para conectar únicamente el sensor de efecto hall, el cual es el encargado de medir el consumo de agua de la tubería al cual se le asigno.

En este documento los autores identificaron que los aspectos más importantes a la hora de implementar un proyecto Smart water son, adecuar la distribución del agua, garantizar el flujo de agua y evitar las fugas de agua por culpa de las instalaciones de los flujómetros.

El enfoque principal de este proyecto fue identificar las pérdidas causadas por las tuberías que poseían fugas, aunque estas están aceptadas en el ambiente industrial, prevenir esto puede ayudar al medio ambiente, también buscan estimular el uso racional del agua, su implementación es tan ideal para proyectos IoT ya que únicamente usan el flujómetro y el microcontrolador para enviar la información, esto generando una disminución en el costo del proyecto, es un diseño 100% brasileño y apto para monitorizar el consumo de varias tuberías<sup>25</sup>.

La importancia de implementar tecnologías de bajo costo tiene un gran impacto, como se puede evidenciar en este proyecto, la implementación permite la monitorización con un microcontrolador de bajo costo, brindándole un mayor beneficio a los usuarios.

### 8.2.3 Espacio colombia

#### **Título: Sistema M2M para el consumo eficiente de agua en servicios sanitarios, basado en ambientes inteligentes**

Este documento fue publicado en 2018, sus autores pertenecen al grupo de investigación TelemaTics, por dos estudiantes uno de la UPTC y otro de la UNAL, los cuales muestran la importancia de los proyectos IoT en ambientes tales como los son los baños, en estos en Colombia únicamente se usa la mecánica, pero esta se puede complementar con las TIC para desarrollar espacios más amigables con el agua, ellos tienen en cuenta el baño ya que es uno de los sitios donde más se

---

<sup>25</sup> (Smart Water Management System using the Microcontroller ZR16S08 as IoT Solution. Machado, M, Ribas, T, Silva, MR & Martins J. 2019) (Machado et al., 2019)

consume agua en el hogar, en este proyecto ellos tuvieron en cuenta que el baño es utilizado por 5 personas y además instalaron un panel físico donde las personas pueden observar el consumo que se viene realizado en el mes.

Además de calcular el posible costo del servicio, ya que ellos tuvieron en cuenta el precio que posee ese lugar por m<sup>3</sup> de agua y con esto realiza los debidos cálculos, ellos recalcan la importancia de utilizar sistemas electrónicos para monitorizar el consumo de agua, ya que permiten a los usuarios poseer un consumo más consciente del agua, también recalcan la importancia de implementaciones de bajo costo, esto es muy importante ya que la inversión que realiza el dueño del hogar se debe ver retornada en el ahorro que realiza gracias al dispositivo implementado<sup>26</sup>.

Escoger un lugar como los baños para medir el consumo de agua es muy útil ya que es uno de los sitios donde más se consume agua en el hogar en Colombia, como podemos observar en este proyecto es importante escoger el lugar y así evidenciar el impacto que pueden causar este tipo de proyectos.

Todos estos proyectos muestran lo útiles que pueden llegar a ser las implementaciones IoT en la medición o monitorización del agua (Proyectos tipo SmartWater), también evidencian las ventajas de implementar proyectos de bajo costo, la utilización de servicios cloud y la importancia de utilizar un marco de referencia, lo cual permite obtener mayores beneficios de este tipo de proyectos.

---

<sup>26</sup> (Sistema M2M para el consumo eficiente de agua en servicios sanitarios, basado en ambientes inteligentes. Gonzales-Amarillo, C, Cardenas-Garcia & Mendoza-Moreno.2018) (González-Amarillo et al., 2018)

## 9. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO

El análisis de requerimiento fue el primer paso realizado, el cuál facilito el desarrollo de esta propuesta de trabajo de grado. Este capítulo se divide en cuatro secciones, las cuales tratan de 4 aspectos clave para el desarrollo e implementación de este proyecto, donde:

- En la primera sección se analizaron los diferentes lugares que permitieron la instalación de los sensores/módulos encargados de medir el consumo del agua, por lo cual se consideró el consumo realizado por estos lugares en donde se realizó la recolección de datos.
- En la segunda sección se analizaron los diferentes dispositivos electrónicos necesarios para el funcionamiento de la red de sensores, estos dispositivos electrónicos son los módulos de transmisión y sensores para medir el consumo de agua.
- En la tercera sección se identificaron los diferentes tipos de conexión encargados de la correcta transmisión de datos generados por la red de sensores para monitorizar el consumo de agua.
- En la cuarta sección se analizaron las diferentes alternativas que existen para almacenar y procesar los datos, se tuvieron en cuenta todo tipo de servicios, ya sean servicios cloud o servicios locales, esto permitió identificar los que más brindaban valor al proyecto.

Estas cuatro secciones permitieron definir los requerimientos básicos del proyecto, los datos recolectados en cada una de las secciones fueron necesarios para determinar las herramientas, técnicas y métodos utilizados en la red de sensores, para recolección de datos cualitativos se utilizaron: Documentos, registros, entrevistas y observaciones<sup>27</sup>.

Para realizar un proyecto estilo SmartWater, se recomiendan las implementaciones de bajo costo<sup>28</sup>, ya que estas son asequibles para muchas personas y permiten soluciones tecnológicas sin la necesidad de recurrir a tecnologías costosas, estas implementaciones de bajo costo son posibles gracias a

---

<sup>27</sup> (Metodología de la investigación, Hernández Sampieri, 2010) (Hernandez Sampieri et al., 2010)

<sup>28</sup> a(GSMA, 2017)

los avances tecnológicos actuales ya que permiten reducir el costo en muchos de los componentes necesarios para una red de sensores.

Además de las sugerencias brindadas por el marco de referencia, también se consideraron las exigencias dadas por los dueños de los hogares donde se instaló la red de sensores, para esto se realizó un cuestionario, el cual se puede encontrar en el Anexo C. De acuerdo con este, las exigencias son las siguientes:

- Evitar elementos o dispositivos que requieran un constante mantenimiento.
- No se puede modificar los espacios disponibles.
- No se pueden romper muros y alterar paredes.
- Únicamente se pueden instalar sensores o dispositivos en las tuberías visibles en el hogar.
- El consumo energético generado por los dispositivos electrónicos sea el menor posible y que el costo de los componentes a utilizar no sea elevado.

### 9.1 LUGAR DE INSTALACIÓN Y MEDICIÓN

Antes de describir el lugar de instalación se deben identificar los lugares donde el consumo de agua es significativo. De acuerdo con un estudio realizado por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico<sup>29</sup>, que buscaba identificar los lugares que más consumen agua en los hogares colombianos, el sanitario y el lavamanos se encuentran entre los sitios de mayor consumo de agua. Los resultados de este estudio se presentan en la Tabla 3. Considerando esta información se decidió instalar los sensores encargados de medir el consumo de agua en el baño.

Lugares	USO (%)
Consumo Propio	3.9
Ducha	20.9
Sanitario	19.9
Lavamanos	3.7
Lava Platos	15.5
Lavado Ropa	27.1
Aseo Vivienda	4.9
Riego Plantas	0.7
Lavado vehículo	1.5
Riego jardines	1.9

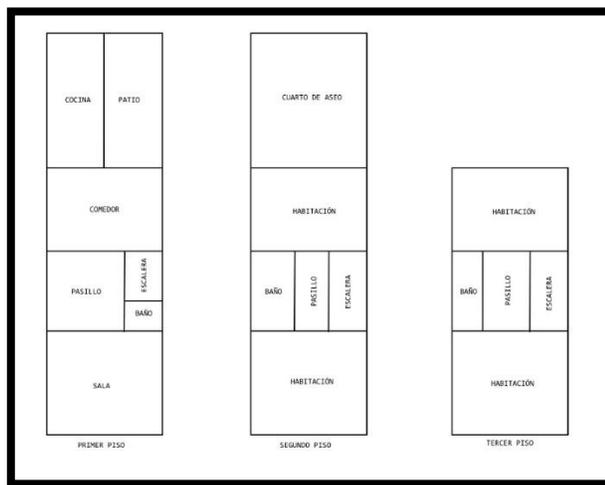
Tabla 3 Determinación del consumo básico de agua potable, fuente: Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

<sup>29</sup> (RANGO DE CONSUMO BÁSICO, María del Carmen Santana et al., 2015) (María del Carmen Santana et al., 2015)

Después de identificar los lugares donde el consumo es elevado, es necesario hablar sobre los lugares de los hogares donde se instalaron los sensores encargados de medir el consumo, estos dos se encuentran en el conjunto Compostela 2 ubicado en la zona franca de Fontibón por lo cual cuentan con la misma infraestructura y distribución.

Como se puede observar en la Figura 4, estos hogares cuentan con tres baños, pero únicamente dos de estos baños tienen ducha, los baños con duchas fueron los sitios donde se ubicaron los sensores, esta decisión se explicó más a detalle en la comparación de lugares de la Tabla 4.

*Plano lugar de instalación*



*Figura 4 Plano lugar de instalación, (fuente: Autor)*

En cuanto a la decisión del lugar de instalación de los sensores se realizó una comparación, en la cual se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos a comparar:

- Nombre del lugar
- Conexión eléctrica disponible y acceso a la red inalámbrica
- Piso del hogar donde se encuentra la habitación
- Que dispositivos se encuentran y permiten la instalación de los sensores
- El acceso de las tuberías
- Frecuencia de uso

El resultado de la comparación se puede observar en la Tabla 4. Con estos aspectos se busca complementar el análisis mencionado anteriormente de la Tabla 3 y cumplir con las exigencias brindadas por los dueños del hogar, se evidencia en los resultados que los baños con ducha son el mejor lugar para instalar los sensores.

### Comparación lugares de instalación

LUGAR	¿Posee Conexión eléctrica y permite la transmisión de datos?	¿En qué piso se ubica?	¿Qué dispositivos se encuentran?	¿Las tuberías de los dispositivos son de fácil acceso?	Frecuencia de uso
<b>Baño</b>	Si	Segundo y tercer piso	- Lavamanos - Lavabo - Ducha	Si, no requiere de modificaciones adicionales el lugar	Diario
<b>Baño de visitantes</b>	Si	Primer piso	- Lavamanos - Lavabo	Si, no requiere de modificaciones adicionales el lugar	Rara vez a la semana
<b>Cocina</b>	No	Primer piso	- Lavaplatos - Nevera	Si, no requiere de modificaciones adicionales el lugar	Diario
<b>Cuarto de Aseo</b>	Si	Segundo	- Lavadora - Lavadero	Si, no requiere de modificaciones adicionales el lugar	Únicamente los fines de semana

Tabla 4 Comparación lugares de instalación, (fuente: Autor)

Además de la comparación de los lugares de instalación, se realizó una entrevista con los diferentes miembros de los hogares para identificar el tiempo promedio que utilizan la ducha y las actividades que consumen agua en el hogar. Los resultados de esta encuesta dan a entender que en estos hogares no se utiliza agua para regar las plantas, lavar el automóvil y regar los jardines. Por lo que fue necesario realizar unos ajustes para poder obtener el 100% del consumo, esto se presenta en la Tabla 5, estas actividades son diferentes a las sugeridas por la tabla 3.

#### Ajuste porcentajes de uso

Lugares	Uso (%)
<b>Consumo Propio</b>	3.9
<b>Ducha</b>	24.7
<b>Sanitario</b>	19.9
<b>Lavamanos</b>	3.7
<b>Lava Platos</b>	15.5
<b>Lavado de Ropa</b>	27.1
<b>Aseo Vivienda</b>	5.2

Tabla 5 Ajuste porcentajes de uso, (fuente: Autor)

Después de recolectar los datos se evidencio que la ducha es el dispositivo que más se utiliza en estos hogares al día, ya que esta se usa aproximadamente 5 minutos al día por cada uno de los habitantes del hogar, por lo que las duchas son los dispositivos claves para medir el consumo en estos hogares.

## 9.2 Dispositivos y sensores

En esta sección se identificaron los requerimientos básicos de los dispositivos encargados de medir el consumo de este lugar y de los nodos de transmisión responsables de transmitir los datos generados por los sensores.

- **Nodos de transmisión:**

Los nodos de transmisión son los dispositivos encargados de recibir los datos generados por los sensores y transmitirlos al nodo de procesamiento, por lo que estos nodos de transmisión deben ser compatibles con el sensor y los protocolos de comunicación del nodo de procesamiento.

Es necesario considerar la gran variedad de módulos de distintos fabricantes como los son: Arduino, Raspberry, Espressif, etc. Capaces de cumplir con las tareas mencionadas, pero gracias al documento llamado “Red de sensores – Internet de las cosas”<sup>30</sup>, el cual menciona la similitud de muchos de los módulos de diferentes fabricantes, gracias a esto se identificó la importancia de trabajar con tecnologías que posean una gran comunidad, ya que facilitara la solución de problemas y serán más fáciles de adquirir.

Además, sin importar que decisión se tome acerca del fabricante del módulo a utilizar como nodo de transmisión, estos módulos deben soportar algunos de los protocolos y servicios del estándar IEEE 802.11(Wi-Fi)<sup>31</sup>.

Después de identificar algunos aspectos claves para la selección de estos nodos de transmisión, se determinaron los siguientes requerimientos básicos:

- Experiencia con el módulo a utilizar
- Soportar conexiones WI-FI
- Ser compatible con el sensor encargado de recolectar los datos

- **Sensores para la recolección de datos**

Estos sensores serán los encargados de capturar los datos de consumo, por lo que para esta implementación se utilizarán caudalímetros. Existen dos tipos de caudalímetros:

- Los caudalímetros electromagnéticos, estos aprovechan el campo electromagnético y un voltaje inducido al tubo con el cual se puede medir la velocidad del agua<sup>32</sup>. Este tipo de caudalímetros son muy precisos y costosos (el precio de un caudalímetro electromagnéticos ronda entre los 4 millones de pesos), estos son muy utilizados en procesos industriales.

---

<sup>30</sup> (Red de sensores - Internet de las cosas, González Daza, 2015) (González Daza, 2015)

<sup>31</sup> (The IEEE 802.11 Standardization Its History, Specifications, Implementations, and future, 2013) (Berg, 2013)

<sup>32</sup> (Caudalímetros Electromagnéticos EMI - EMT Manual de usuario, (CONTATEC) (CONTATEC, n.d.)

- Los caudalímetros de efecto hall funcionan gracias a una turbina con un imán y un sensor de efecto hall, cada vez que el imán se acerca al sensor de efecto hall genera un pulso, el cual se utilizar para calcular el caudal en ese momento. Estos caudalímetros poseen una precisión de alrededor del 10% y solo funciona con líquidos poco viscosos como lo es el agua<sup>33</sup>

Después de mencionar los tipos de caudalímetros e identificar las características básicas de cada uno, se deben considerar los siguientes requerimientos básicos a la hora de seleccionar un caudalímetro:

- Gran durabilidad
- Permitir el flujo de agua caliente y fría.
- Ser compatible con el nodo de transmisión
- Ser fáciles de instalar o adaptar en una tubería de ½ pulgada y preferiblemente que su material sea de PVC.
- Deben ser económicos y fáciles de adquirir en Colombia.

Cabe recalcar la importancia de la compatibilidad, ya que estos caudalímetros únicamente generan pulsos, los cuales deben ser almacenados, procesados y transmitidos, estos procesos permitieron generar el dato de consumo de agua del dispositivo donde se instaló el caudalímetro.

Esta compatibilidad permite capturar el caudal de la tubería donde se instaló, como podemos observar en la ecuación 1 la cual utilizo el nodo de transmisión para obtener el caudal generado en ese momento.

Ecuación 1. Caudal por segundo

$$Caudal = \left( T * \frac{P}{fc} \right)$$

Donde T es igual al tiempo transcurrido, P es el número de pulsos eléctricos generados por el sensor y fc es el factor de calibración el cual se obtiene en la tabla de características brindada por el fabricante del sensor<sup>34</sup>. Esta ecuación permitió determinar el caudal del dispositivo donde se instaló el caudalímetro, lo cual

---

<sup>33</sup> (Sensor de Flujo de Agua (Hall) 1/2" YF-S201, n.d.).

<sup>34</sup> a( Arduino YF-S201 Flow Sensor Calibration and Usage - YouTube, 2016.)

permitirá enviar el dato de consumo al nodo de procesamiento y obtener el resumen de consumo del hogar.

Después de realizar el debido análisis e identificar los requerimientos básicos para el nodo de transmisión y el sensor encargado de capturar los datos, los requerimientos a tener en cuenta son:

- Compatibilidad entre el nodo de transmisión y el caudalímetro.
- Sensores fabricados con un material impermeable y duradero.
- Un módulo de transmisión que posea una antena wifi.
- Dispositivos electrónicos de bajo costo.

Estas sugerencias fueron consideradas para realizar el respectivo diseño de la red de sensores.

### 9.3 CONEXIÓN

Existen diferentes tipos de comunicación entre dispositivos IoT, los cuales permiten la conexión a la red y la transmisión de datos, pero en el marco conceptual se mencionaron las comunicaciones M2M, las cuales son muy útiles en las redes de sensores inalámbricas, comúnmente los sensores que recolectan los datos requieren de un Gateway el cual se encarga de recibir y transmitir los datos generados por el sensor a la red, en este caso el caudalímetro, además se puede entender como Gateway los anteriormente mencionados nodos de transmisión.

Es necesario tener en cuenta que existen diferentes protocolos de comunicación M2M, los cuales permitirán la comunicación entre los nodos de transmisión y los nodos de procesamiento en esta implementación.

Para identificar los aspectos claves y requerimientos básicos, se utilizó un estudio llamado “Performance Evaluation of CoAP and MQTT\_SN in an IoT Environment”<sup>35</sup>. El cual compara el protocolo MQTT y CoAP en entornos IoT, este estudio sugiere que el protocolo MQTT es más eficiente a la hora de trabajar con dispositivos poco complejos y que el consumo energético no es significativo entre los dos protocolos.

Con base a este estudio también se descubrió que los nodos de transmisión pueden utilizar el protocolo MQTT, brindándoles una comunicación más veloz. Una desventaja de utilizar el protocolo MQTT, es la necesidad de utilizar un bróker; este bróker es encargado de recibir los mensajes/datos de los publicadores y distribuirlos a todos los dispositivos que los necesiten, los cuales son llamados subscriptores.

---

<sup>35</sup> (Performance Evaluation of CoAP and MQTT\_SN in an IoT Environment, Martí et al., 2019) (Martí et al., 2019)

Después de identificar las ventajas de estos dos protocolos para redes de sensores inalámbricos que permiten una comunicación eficaz entre el nodo de procesamiento y los nodos de transmisión, se identificaron los siguientes requerimientos a la hora de optar por uno de los dos protocolos:

- Los nodos de transmisión deben soportar el protocolo MQTT o CoAP
- Poseer conexión a internet y una ip asignada.
- Si se utiliza el protocolo MQTT, el nodo de transmisión debe poseer una conexión con el bróker

Fue necesario tener en cuenta estas recomendaciones a la hora de transmitir los datos, ya que se utilizó un dispositivo el cual requirió un protocolo de transmisión simple.

#### 9.4 PROCESAMIENTO DE DATOS

Para esta implementación se utilizó un nodo de procesamiento. Este hace referencia al dispositivo o servicio encargado de recibir los datos y procesarlos, para almacenarlos en una base de datos y compartirlos con el usuario por medio de una aplicación web.

Para esta implementación lo ideal es utilizar servicios cloud los cuales permitirán una reducción de costos, por lo que en esta sección se realizó una comparación entre el cloud computing y el alojamiento local, y así evidenciar las ventajas y desventajas que brindan estos servicios, los resultados de esta comparación se pueden observar en la Tabla 6.

*Ventajas y desventajas del cloud computing*

Cloud Computing		Alojamiento local	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
-Respaldos -Almacenamiento casi ilimitado	-El desconocimiento a la hora de rentar un servicio puede causar sobrecostos	-Se puede acceder a la información sin internet	-Requiere conocimiento técnico
- Disponible 24/7 -El costo de escalamiento es reducido	-No se puede acceder a la información sin internet	-El administrador posee un control total sobre el sistema	-El costo del consumo energético depende del sector
-No posee costos adicionales si se decide actualizar el hardware		-No depende de una conexión permanente al internet	-Las actualizaciones de hardware pueden ser un simple mantenimiento, hasta el remplazo total del equipo (altos costos)
-El costo del consumo energético viene incluido			

-Administración sencilla			
--------------------------	--	--	--

Tabla 6 Ventajas y desventajas del cloud computing, (fuente: Autor)

Se puede identificar en la tabla 6, que los dos servicios brindan diferentes beneficios, pero para esta implementación el alojamiento local no es la mejor opción, dado que sus costos de mantenimiento son elevados<sup>36</sup> y el dueño del hogar tendría que involucrarse con procesos técnicos incumpliendo con las exigencias brindadas por los dueños.

Los servicios cloud, siempre están disponibles y permiten reducir costos, evitan la necesidad de realizar mantenimientos preventivos y poseen una mejor escalabilidad.

Así mismo se realizó una comparación entre una implementación que utiliza servicios cloud y una que utiliza alojamiento local, permitiendo complementar la información de la Tabla 6, esta comparación permitió explicar más a detalle el uso de servicios cloud. Para esta implementación únicamente se consideraron servicios de tipo PaaS, si se adquiere un servicio IaaS generara sobrecostos y desperdicios de recursos, si es el caso de rentar una maquina con características similares a una raspberry PI 4/4GB.

Para poder realizar la comparación fue necesario utilizar un servicio como AppEngine y la calculadora de GCP (Google Cloud Computing), la cual permitió estimar el costo mensual. Además, GCP posee un rango de servicio sin costo para proyectos pequeños. Para el alojamiento local se utilizó de referencia una Raspberry 4/4Gb, su costo actual con fuente de alimentación y sin almacenamiento es de \$315.400 pesos, en la comparación se tuvieron en cuenta las siguientes características:

- Consumo energético
- Almacenamiento
- Memoria RAM
- Procesador
- Precio mensual
- Precio anual

Los costos que se observan en la Tabla 7, están asociados a las características que permiten a estos dos servicios procesar información y alojar una página web,

<sup>36</sup> (Cluster Computing Vs Cloud Computing a Comparison and an Overview, Naeem et al., 2016) (Naeem et al., 2016)

Ventajas y desventajas del cloud computing

	RaspberryPI 4	GCP(AppEngine)
<b>Consumo energético</b>	10 W/ Hora Precio: \$3592 COP / mes	No aplica
<b>Almacenamiento</b>	128 GB memoria microSD Precio: \$6183 COP / mes	128 GB cloud storage Precio: \$12160 COP/mes
<b>Memoria RAM</b>	4GB de RAM Costo: Incluido en el costo de la raspberry	Velocidad de la RAM: 256MB Precio: \$2432 COP/ mes
<b>Procesador</b>	1.5GHz Costo: Incluido	600MHz Costo: Gratis
<b>Costo Mensual</b>	\$ 36058 COP	\$14592 COP
<b>Costo Anual</b>	\$432704 COP	\$175104 COP

Tabla Ventajas y desventajas del cloud computing, (fuente: Autor)

Como se puede observar en la tabla 7, es más económico utilizar un servicio cloud como AppEngine, ya que este permite la misma implementación con un costo anual reducido.

Se comprueba de este modo que es mejor utilizar cualquier servicio cloud tipo PaaS, cabe recalcar que en esta comparación únicamente se tuvo en cuenta GCP, pero en el siguiente capítulo se compararon más servicios cloud para seleccionar el encargado de procesar los datos y almacenarlos.

Además, el consumo energético es otro de los factores importantes que se consideraron y los servicios cloud brindan un mayor beneficio, ya que estos incluyen el costo energético. Para comprobar esto se realizó una comparación, la cual se puede observar en la Tabla 8, donde se comparan los costos energéticos que debe asumir el dueño para poder alojar la aplicación web y la base de datos necesaria para el funcionamiento de la red de sensores, se consideró una raspberryPI 4, un computador personal y el servicio AppEngine ofrecido por Google Cloud Platform. El costo kW/h del sector donde se instaló la red de sensores es de 531.28\$ pesos<sup>37</sup>.

Consumos por dispositivo

	RaspberryPI 4	AppEngine(GCP)	Computador Personal
<b>Consumo Watt/H</b>	2.7 W	0	200 W
<b>Consumo Watt/Dia</b>	64.8	0	4800 W
<b>Consumo Watt/Mes</b>	1.944 kW	0	144 kW
<b>Precio Mensual</b>	1032. \$ pesos	Incluido en la mensualidad	76505.47\$ Pesos
<b>Precio Anual</b>	12393.89\$ Pesos	Incluido en la mensualidad	918065\$ Pesos

Tabla 7 Consumos por dispositivo, (fuente: Autor)

Prosiguiendo con el tema el mejor de los casos es utilizar un servicio cloud, ya que este permite ahorrar costos de consumo energético, además

<sup>37</sup>a(ENEL, 2021)

para esta implementación si se utiliza AppEngine, el tráfico de datos es tan mínimo que aplica para el rango gratuito ofrecido por GCP.

Ciertamente en cada una de las secciones de este capítulo, se identificaron los requerimientos básicos para seleccionar las herramientas a utilizar en el diseño y la implementación, además estos requerimientos siguen las exigencias de los dueños de los hogares y las recomendaciones brindadas por el marco de referencia.

## 10. COMPARACIÓN DE HERRAMIENTAS

Después de identificar los requerimientos básicos que permitieron seleccionar las herramientas y determinar el lugar de instalación, en este capítulo se compararon las diferentes herramientas tecnológicas o servicios cloud que forman la red de sensores. Este capítulo se dividió en 3 secciones en las cuales se compararon las diferentes herramientas y servicios que permitieron el correcto funcionamiento de la red de sensores:

- **Nodo de transmisión:** En esta sección se compararán los diferentes módulos que se encargarán de transmitir los datos de consumo que se obtienen por medio del caudalímetro.
- **Caudalímetro:** Este es el sensor encargado de medir el caudal en la tubería donde se instala, se hará una comparación entre un caudalímetro electromagnético y uno de efecto hall.
- **Nodo de procesamiento:** En esta sección se comparan diferentes servicios cloud, los cuales se encargarán de recibir la información transmitida por el nodo de transmisión, almacenarla y procesarla.

### 10.1 NODO DE TRANSMISIÓN

Para estos nodos de transmisión se utilizó una placa de desarrollo. Como se mencionó en el capítulo anterior, existe una gran variedad de placas de desarrollo que permiten realizar estas tareas. Pero en este caso únicamente se compararon 3 tipos de placas de desarrollo fabricadas por Arduino, RaspberryPI y las placas con un microcontrolador ESP8266, estos fabricantes comparten las siguientes características:

- Poseen una gran comunidad de desarrolladores, esto es muy útil para la solución de problemas
- Poseen una gran variedad de modelos
- Son fáciles de adquirir en Colombia
- Son económicas

Estas son las razones por las que únicamente se utilizaran estos fabricantes para la selección de nuestro nodo de transmisión, se realizó una comparación entre los dispositivos de cada fabricante en la cual se tiene en cuenta el precio y los

protocolos soportados, esto fue necesario para seleccionar la placa encargada de trabajar como nodo de transmisión.

- **Raspberry pi**

Como se puede observar en la tabla 9, se realizó una comparación entre tres modelos recientes de RaspberryPI, el caso de la RaspberryPI 3 y 4, se consideraron todas las variaciones de cada modelo.

*Comparación minicomputadoras raspberryPI*

Imagen	Nombre del modelo	Protocolos soportados	Precio
	Raspberry Pi Zero W	IEEE 802.11n Bluetooth 4.1/BLE	\$ 64.680 COP
	Raspberry Pi 3 Model B/A+ B2	IEEE 802.11 n/g/n/ac Bluetooth 4.2/BLE	\$87.500 – \$122.500 COP
	Raspberry Pi 4 Model B 2-4-8GB	IEEE 802.11 n/g/n/ac Bluetooth 5/BLE	\$122.500 – 262.500 COP

*Tabla 8 Comparación minicomputadoras raspberryPI, (fuente: Autor)*

Para esta implementación lo ideal es utilizar un módulo de bajo costo y como se puede observar en la tabla 9, todos los modelos de RaspberryPI comparados soportan protocolos del estándar IEEE802.11, por lo que en esta ocasión el modelo que brinda un mayor beneficio es el RaspberryPI Zero W, este modelo es económico y cuenta con las características básicas para funcionar como nodo de procesamiento.

- **Esp8266**

Esp8266 es un microcontrolador, pero las placas que incluyen este chip permiten conectar sensores y enviar datos por medio del WI-FI, estas placas poseen un diseño compacto, durable y de bajo consumo<sup>38</sup>. En la tabla 10 se realiza una comparación entre las placas que poseen el microcontrolador esp8266:

<sup>38</sup> a(ESP8266 Wi-Fi MCU | Espressif Systems, n.d.)

### Comparación módulos ESP8266

Imagen	Nombre del Modelo	Protocolos Soportados	Precio
	ESP8266EX	IEEE 802.11 b/g/n	\$8.000 COP
	NODEMCU ESP8266	IEEE 802.11 b/g/n	\$15.000 COP

Tabla 9 Comparación módulos ESP8266, (fuente: Autor)

Como se puede observar en la tabla 10, únicamente se consideraron dos opciones, a pesar de poseer el mismo microcontrolador, la versión de NODEMCU brinda mejores características, ya que este no requiere de un accesorio para disponer de una conexión microUSB, estas características se discutirán en la comparación al final de esta sección entre los diferentes fabricantes.

- **Arduino**

En el caso de Arduino se realizó una comparación como se puede observar en la Tabla 11 entre diferentes modelos de este fabricante, en este caso únicamente 2 módulos de Arduino poseen antena WI-FI y se pueden adquirir en Colombia.

### Comparación placas Arduino

Imagen	Nombre Del Modelo	Protocolos soportados	Precio
	ARDUINO UNO WIFI REV2	IEEE 802.11 b/g/n	\$ 156.800 COP
	ARDUINO NANO 33 IOT	IEEE 802.11 b/g/n Bluetooth	\$ 64.400 COP
	Otras Versiones (UNO, MEGA, NANO, MICRO, etc..)	Pueden tener bluetooth con un módulo HC-05/6	\$40.000 - \$150.000 COP

Tabla 10 Comparación placas Arduino, (fuente: Autor)

En el caso de las placas Arduino, se decidió escoger la placa Arduino nano 33 IOT, ya que esta es económica y soporta protocolos del estándar IEEE802.11.

Después de comparar los diferentes modelos de los 3 fabricantes mencionados al principio de esta sección, fue necesario realizar otra comparación entre los 3 modelos seleccionados de cada fabricante en la cual se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Características, estas indicaran el rendimiento de las placas seleccionadas.
- Si soporta los protocolos del estándar IEEE802.11.
- Número de entradas digitales, estas entradas permitirán conectar el caudalímetro y recolectar los pulsos generados.
- Voltaje de funcionamiento y el consumo energético.
- Precio.

Esta comparación se puede observar en la tabla 12.

*Comparación diferentes módulos*

Nodo de transmisión	características	¿Soporta protocolos del estándar IEEE802.11?	¿Posee entradas digitales?	Voltaje de funcionamiento	Consumo de energía	PRECIO(COP)
<b>ARDUINO NANO 33 IOT</b>	-Microcontrolador: SAMD21 Cortex-M0+ 32bit low power ARM MCU  -Clock Speed: 48MHz  -Radio Module:ublox NINA-W102  -RAM: 256KB CPU Flash Memory; 32KB	Si, soporta 802.11 b/g/n	21 pines GPIO	3.3V - 5V	1mA - 120mA	\$64.400 COP
<b>NODEMCU ESP8266</b>	- Microcontrolador: Tensilica Xtensa® 32-bit LX106  -clockspeed: 80 MHz.  -internal RAM: 128kB  -external flash: 4MB	Si, soporta 802.11 b/g/n	17 pines GPIO	2.5V - 5V	20µA (Sleep Mode) - 80mA	\$15.000 COP
<b>Raspberry Pi Zero W</b>	-microcontrolador: 1GHz, single-core CPU -40 pin header's -  RAM: 512MB	Si, soporta 802.11 b/g/n	28 pines GPIO	5V	80mA (0.4W)- 120 mA (0.7W)	\$64.840 COP

*Tabla 11 Comparación diferentes módulos, (fuente: Autor)*

Después de realizar la debida comparación entre los 3 módulos seleccionados en la Tabla 12, se puede determinar que:

- Todas las placas poseen la capacidad de procesamiento apta para esta implementación
- Todas soportan protocolos del estándar WI-FI
- Sus costos no son muy elevados
- Son de bajo consumo energético.

Pero el caso de la Raspberry PI y la placa de Arduino, no son aptas para esta implementación ya que:

- Se requiere adquirir mínimo 4 módulos, por lo que, si se adquieren las placas fabricadas por Arduino o RaspberryPI, el costo de la implementación se elevaría significativamente.
- Las placas de Arduino y RaspberryPI, poseen una capacidad de procesamiento muy superior para las funciones que debe realizar el nodo de transmisión, por lo que si se escoge alguna de estas se desperdiciarían recursos, tales como la capacidad de procesamiento de datos y el exceso de memoria ram para estas funciones.

Se utilizaron módulos NODEMCU ESP8266, gracias a los resultados de las comparaciones realizadas en esta sección. Ya que estos módulos son económicos, cuentan con la capacidad de procesamiento suficiente para realizar las tareas del nodo de transmisión y poseen un consumo bajo.

## 10.2 CAUDALÍMETRO

El caudalímetro es el sensor encargado de capturar el consumo de agua, además estos se deben adaptar en tuberías de ½ pulgada y en esta comparación únicamente se tendrán en cuenta los caudalímetros de efecto hall y los electromagnéticos, por las siguientes características:

- Son los caudalímetros más utilizados en el mercado.
- Se pueden adquirir en Colombia.
- Las tuberías donde se instalan no requieren de modificaciones extremas, en algunos casos únicamente requieren de un adaptador.

### Comparación caudalímetros

Modelo	Tipo	Tamaño de entradas	Consumo	Voltaje	Precisión	Precio
PRM EFM-DN	Electromagnético	2 pulgadas	4-20 mA	24V	0.5%	+ 4M COP
Sea YF-S201	Efecto Hall	½ pulgada	10mA – 15mA	5V	10%	15.000 COP

Tabla 12 Comparación caudalímetros, (fuente: Autor)

A pesar de que los caudalímetros electromagnéticos son muy precisos como se puede observar en la tabla 13, para esta implementación se descartan, por el sobre costo que pueden generar.

Únicamente se compararon dos modelos de cada tipo, esto se debe a que son pocos los modelos que se pueden adquirir de manera sencilla en Colombia. Por lo cual se decidió utilizar el sensor YF-S201, estos son económicos y cumplen con las recomendaciones del marco de referencia y las exigencias de los dueños de los hogares. Cabe recalcar que el modelo seleccionado no es muy preciso, lo cual genera imprecisiones a la hora de medir el volumen de agua.

### 10.3 NODO DE PROCESAMIENTO

En esta red de sensores se utilizó un servicio cloud para el nodo de procesamiento, se compararon los diferentes servicios cloud que ofrecen los diferentes proveedores, esto permitió seleccionar el servicio cloud adecuado, únicamente se compararon 3 proveedores de servicios cloud y 3 proveedores para el almacenamiento de datos cloud, ya que son líderes en el mercado y poseen una gran comunidad de desarrolladores, lo cual facilitó la solución de problemas y el desarrollo del proyecto.

- **Procesamiento de datos**

El procesamiento de datos es el lugar de destino para los datos generados por la red de sensores, requiere de un servicio cloud PaaS, ya que será una aplicación web encargada de realizar este proceso, además esta aplicación debe tener la capacidad de enviarlos a una base de datos. Se realizó una comparación entre diferentes proveedores de servicios que ofrecen el servicio cloud PaaS, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Características.
- Costo promedio en dólares.

- Lenguajes de programación que se pueden utilizar.
- ¿Cómo es la implementación?
- Únicamente se consideró la instancia básica de cada servicio.

*Comparación AWS, AZURE Y GCP*

	<b>Aws Lambda<sup>39</sup></b>	<b>Azure AppService<sup>40</sup></b>	<b>GCP AppEngine<sup>41</sup></b>
<b>Características</b>	Lambda cobra por cada vez que se ejecuta la función, por las solicitudes y la carga que requiere la función (aclarar las características)	RAM: 1.75GB Soporta DNS CPU: No lo indica	RAM: 512MB CPU: 1.2GHz Escalamiento: Automático
<b>Costo</b>	5.83\$/mes carga 5.80\$/mes solicitudes 11.63\$/ mes	0.075\$/hora 54\$/mes	0.04\$/hora 30.44\$/mes
<b>Lenguajes soportados</b>	Python, Node.js, Java, Ruby, c# y Go	Python, PHP, ASP.NET, JAVA y ruby	Python, Java, PHP, node.js y Go
<b>Implementación</b>	Automática, únicamente se debe subir el código de la aplicación web	Automática, únicamente se debe subir el código de la aplicación web	Automática, únicamente se debe subir el código de la aplicación web

*Tabla 13 Comparación AWS, AZURE Y GCP, (fuente: Autor)*

Como se puede observar en la Tabla 14, se compararon los servicios básicos dedicados PaaS de cada uno de los proveedores, se puede evidenciar que aws Lambda es el servicio más económico en este caso, ya que se simuló una aplicación web que requiere 512MB de memoria ram y es ejecutada 3 millones de veces en un solo mes, todo esto nos dice que:

- AWS Lambda, es el servicio más económico de esta comparación, pero requiere de una persona experta a la hora de calcular los recursos necesarios
- Azure posee más memoria RAM, pero su costo es muy elevado.
- GCP AppEngine, posee escalamiento automático y es muy útil para esta implementación, ya que posee un rango de servicio gratuito.

Además, si se hubiera realizado una comparación con los recursos requeridos para esta implementación, estos aplicarían al rango gratuito de estos proveedores, por lo que en esta implementación se utilizó el servicio AppEngine de Google Cloud, esto se debe a la facilidad que brinda este

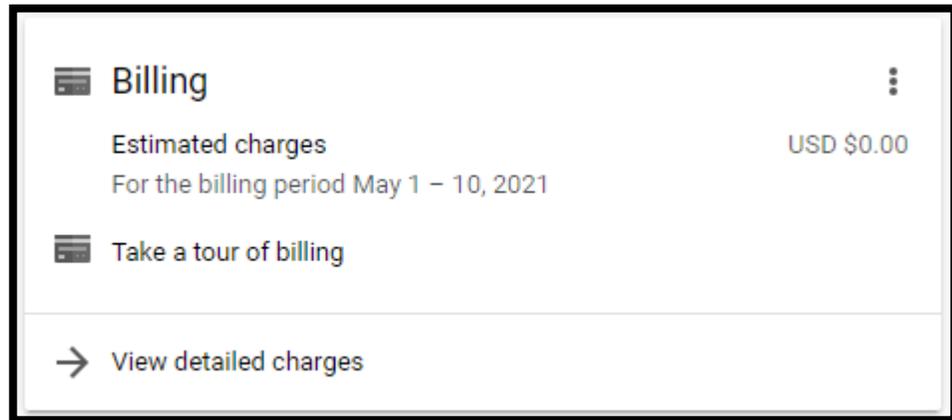
<sup>39</sup> a(AWS, n.d.)

<sup>40</sup> (Microsoft, n.d.)

<sup>41</sup> a(GCP, n.d.)

servicio para alojar y desplegar una aplicación web, además como se puede observar en la figura 5 después de desplegar la aplicación y realizar pruebas por 10 días, no se sumó ningún costo a la cuenta de cobro.

*Facturación alojamiento web, después de 10 días de uso*



*Figura 5 Facturación alojamiento web, después de 10 días de uso, (fuente: Autor)*

- **Base de datos**

Después de procesar los datos, por el servicio PaaS, se almacenaron en una base de datos, permitiendo obtener un registro de estos. Se realizó una comparación entre 3 proveedores y además se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos encontrados en la tabla 15:

- Ser una base de datos tipo SQL o NoSQL
- Costo promedio en dólares
- Tipo de servicio

*comparación servicios de bases de datos*

	Amazon DynamoDB	GCP SQL <sup>42</sup>	MongoDB Atlas
<b>Tipo de servicio</b>	NoSQL Databases	Database as a services	Database as a services
<b>Tipo de DB</b>	NoSQL	SQL	NoSQL
<b>Costo mensual</b>	15\$/ mensuales por 10GB	9.37\$/ Por 10GB	25\$/ mensuales por 5GB y otros servicios

*Tabla 14 comparación servicios de bases de datos, (fuente: Autor)*

<sup>42</sup> a(GCP, n.d.)

En esta ocasión GCP ofrece el servicio más económico, se utilizó como estándar una base de datos de mínimo 5GB para estimar los costos. Además, Amazon DynamoDB y GCP SQL, únicamente incluyen el servicio del servidor para la base de datos, pero el caso de MongoDB Atlas a pesar de poseer el costo más elevado incluye en servicio llamado MongoDB Charts, el cual permite crear graficas en tiempo real de los datos almacenados, facilitando crear la visualización de datos para los usuarios. Además, para su implementación, la cantidad de datos que generan 4 sensores anualmente, la base de datos de mongoDB es la más adecuada.

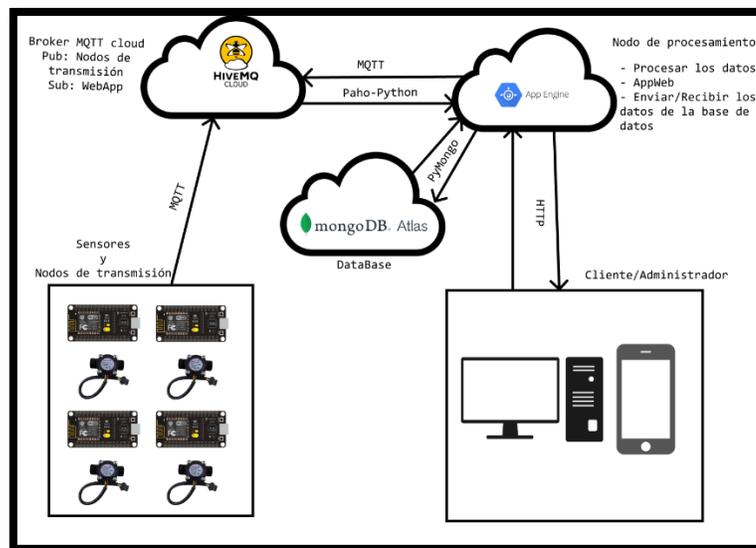
En resumen, se compararon los diferentes dispositivos electrónicos y servicios cloud, los cuales se encargaron de realizar todos los procesos necesarios para monitorizar el consumo del agua. En las comparaciones se seleccionaron los recursos adecuados para esta implementación, pero en caso de ampliar los dispositivos a monitorizar, los recursos que se tuvieron en cuenta en la comparación son suficientes, además la mayoría de las decisiones cumplieron con los requisitos definidos en el anterior capítulo y las exigencias de los dueños de los hogares.

Por lo que estos dispositivos y recursos seleccionados permitieron desarrollar el diseño y la implementación de la red de sensores inalámbrica encargada de monitorizar el consumo del agua.

## 11. DISEÑO DE LA RED DE SENSORES

En este capítulo se definieron los diseños, procesos y las diferentes topologías utilizadas en la red de sensores y su respectiva aplicación web para monitorizar el consumo de agua, este se divide en 3 secciones, donde se explican los casos de uso, los servicios utilizados y las consideraciones de diseño a tener en cuenta a la hora de implementar los diseños propuestos en cada una de estas secciones, en la Figura 6 podemos observar el diseño global de la red de sensores utilizada.

*Topología red de sensores inalámbrica para medir el consumo de agua en el hogar*



*Figura 6 Topología red de sensores inalámbrica para medir el consumo de agua en el hogar ,(fuente: Autor)*

Para esta implementación, se utilizaron 3 servicios cloud: Uno para el alojamiento de la aplicación web, uno para la base de datos y un bróker MQTT. Estos servicios son los encargados de almacenar, recibir, transmitir, procesar los datos generados por la red de sensores y permitir el correcto funcionamiento de la aplicación web.

### 11.1 TOPOLOGÍA DE RED

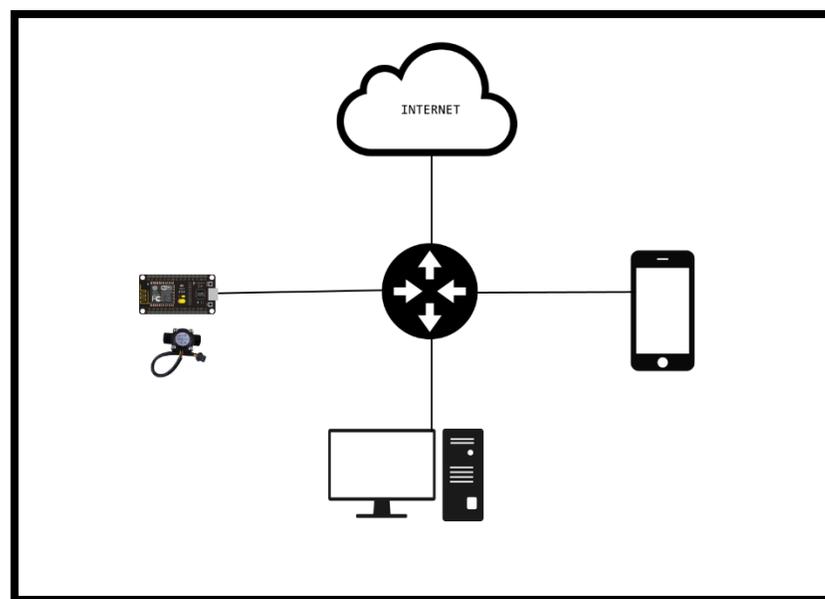
En esta sección se explicó topología de red utilizada la cual permitió la transmisión de datos entre los dispositivos locales y los servicios que se encuentra fuera de la red local. Como se puede observar en la Figura 6 nuestra red de sensores se divide en dos redes la red local y la Red Externa, también se detallaron cuales dispositivos

forman parte de la red local y cuales se encuentran fuera de la red de los hogares, lo cual permitió sugerir algunas consideraciones a la hora de implementar el diseño y propuesto, las cuales permiten un resultado similar al obtenido en esta red de sensores.

### 11.1.1 Red local

En esta red cada hogar se define como una red local, en esta red se encuentran todos los nodos de transmisión encargados de medir el consumo de agua en las duchas, un Gateway que permite la conexión de estos nodos con el internet y los clientes finales, aunque los clientes finales (los miembros de los hogares) también pueden conectarse fuera de la red de sus hogares, esto siendo posible al uso de servicios cloud sin la necesidad de realizar configuraciones extras al modem del hogar o mantener un dispositivo las 24H del día en los hogares, la topología de Red local utilizada se puede observar en la Figura 7.

*Topología de la red local*



*Figura 6 Topología de la red local, (fuente:autor)*

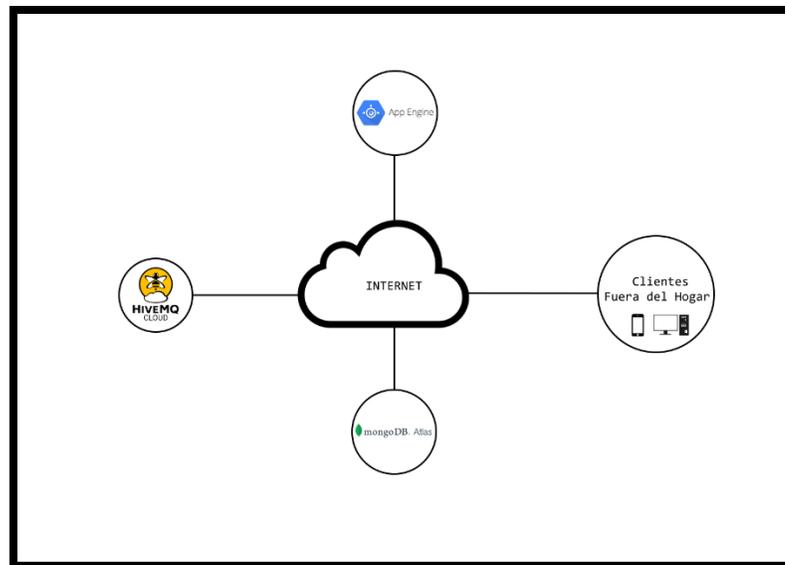
Como se ve en la Figura 7 esta red de sensores requiere de un Gateway que permita la conexión a internet de los dispositivos conectados a la red local, en el caso de los hogares el Gateway es el modem brindado por los proveedores de servicio de internet, sin este modem es imposible obtener

una conexión a internet y sin esta conexión no es posible interactuar entre los servicios cloud de la red de sensores, los cuales son necesarios para brindar el acceso a la página web a los usuarios.

### 11.1.2 Red externa

Para esta red de sensores, todos los dispositivos fuera de los hogares hacen parte del internet (Red externa), ya sean servicios cloud o clientes finales que se encuentran fuera de sus hogares, gracias al uso de servicios cloud los clientes que se encuentran fuera de sus hogares pueden observar sin ningún problema el consumo detallado por parte de la red de sensores por medio de la aplicación web, la única condición para interactuar con la red de sensores fuera del hogar es poseer una conexión válida a internet, la topología de red implementada se puede observar en la Figura 8.

*Red externa*



*Figura 7 Red externa, (fuente:autores)*

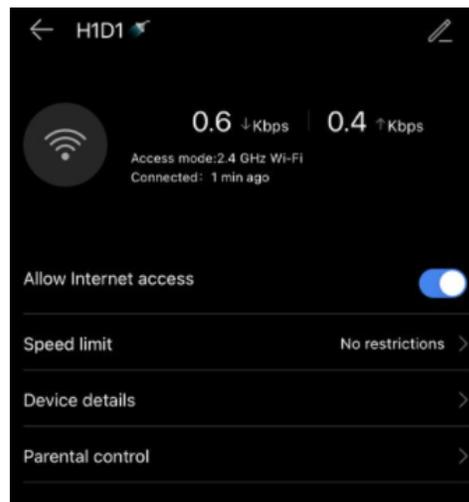
Como se puede observar en la figura 8, todos los servicios cloud están conectados a internet y en algunos casos pueden existir clientes fuera de sus hogares, gracias a la conexión a internet que brinda el Gateway de cada hogar, se habilita una interacción entre los dispositivos locales y los servicios cloud sin la necesidad de realizar configuraciones extras en caso de querer implementar una solución local, algunas de estas configuraciones son: Redirección de puertos, configurar una VPN y crear listas de acceso .

### 11.1.3 Consideraciones

Se definieron algunas consideraciones de diseño para la implementación de la topología de red propuesta en esta sección, estas recomendaciones son sugeridas para lograr un resultado similar al obtenido, estas son:

- Poseer una conexión wifi y un ancho de banda mínimo de 5Mbps de subida y bajada, este ancho de banda es suficiente para la publicación de datos por medio del protocolo mqtt, esta transmisión de datos requiere únicamente 0.6 Kbps de bajada y 0.6 de subida por modulo como se puede observar en la Figura 9.

*Nodo de transmisión conectado al modem del hogar*



*Figura 8 Nodo de transmisión conectado al modem del hogar, (fuente: autor)*

- Utilizar servicios cloud brindan dos beneficios los cuales son: poseer una alta disponibilidad y evitar algunas configuraciones extras, las cuales algunas veces requieren de permisos de los operadores que prestan el servicio de internet.

Estas son las consideraciones sugeridas a la hora de configurar la topología de red a utilizar, además se definió una tabla donde se muestra el direccionamiento sugerido, las configuraciones necesarias, el rol y el tipo de enlace para las interfaces clave, como se puede observar en la Tabla 16.

### Configuraciones básicas de las interfaces

Interfaz	Rol	Direccionamiento	Protocolo de transmisión	Configuraciones
<b>ESP8266</b>	Módulo de Transmisión	IP dinamica	WIFI	-Configurar la aplicación creada para medir el consumo de agua y conectarse al bróker.  -Se recomienda no utilizar IP estática
<b>Modem-Router</b>	Gateway	Asignador de IP's por medio del protocolo DHCP	NoSQL	

Tabla 15 Configuraciones básicas de las interfaces, (fuente:autor)

Después de explicar la topología de red local y externa utilizadas en la red de sensores, y las consideraciones de diseño a tener en cuenta a la hora de implementar el diseño creado, se puede observar el diseño de la topología de red utilizado para esta red de sensores en la Figura 10.

### Topología de red Final

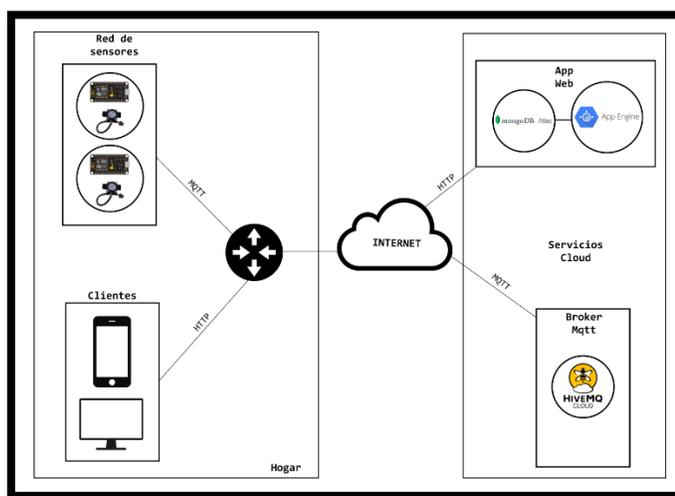


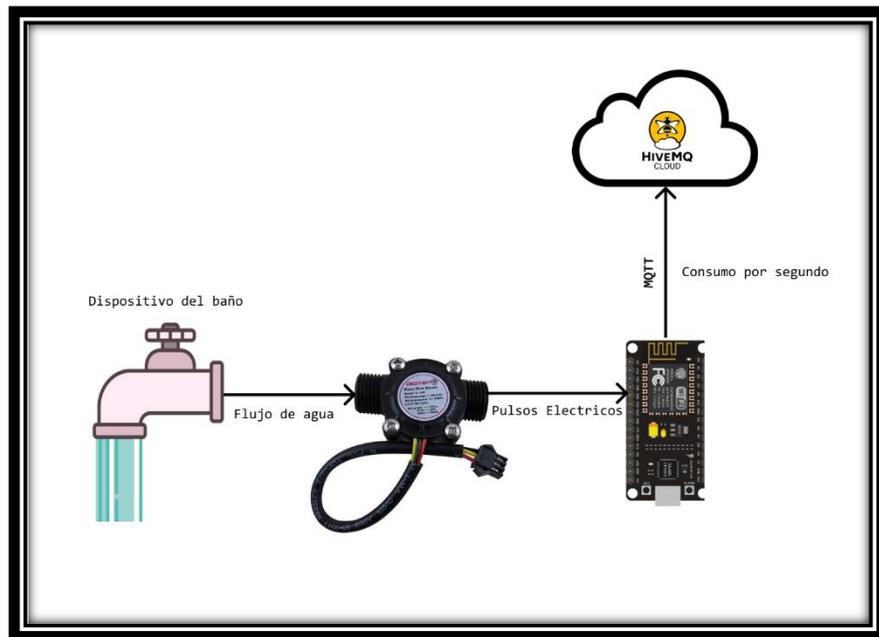
Figura 9 Topología de red Final ,(fuente:autor)

La topología que se observa en la Figura 10 está conformada por las redes mencionadas en esta sección, en la cual cada hogar hace parte de una red local y los servicios cloud hacen parte de la red externa, además se puede observar que los sensores únicamente se comunican por medio del protocolo mqtt con el bróker cloud y los clientes por medio del protocolo http con la aplicación web, evidenciando una correcta transmisión de datos en la red de sensores gracias la topología propuesta y utilizada.

## 11.2 CAPTURA Y TRANSMISIÓN DE DATOS

La captura de datos consta de 4 elementos, el dispositivo donde se instaló el caudalímetro, el caudalímetro, el módulo esp8266 y un bróker MQTT. Estos fueron los componentes encargados de capturar y transmitir los datos de consumo, los cuales se pueden observar en la Figura 11.

*Captura de datos,*



*Figura 11 Captura de datos, (fuente: Autor)*

Cuando una ducha se abre, se genera un flujo de agua por la tubería donde se instaló el sensor, ocasionando la generación de pulsos del caudalímetro, los cuales se almacenan y procesan en el nodo de transmisión. Este nodo posee una conexión a la red wifi del hogar, esta conexión wifi permite la interacción del nodo con el bróker MQTT cloud, este proceso se puede observar detalladamente en la Figura 12.

procesos del nodo de transmisión,

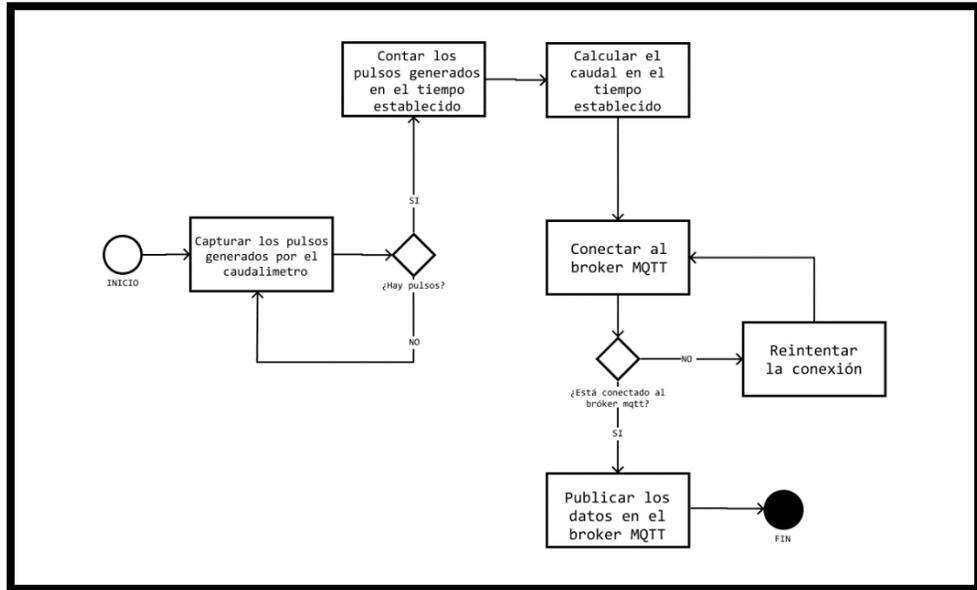


Figura 10 procesos del nodo de transmisión, (fuente: Autor)

Este proceso permitió transmitir los datos de consumo generados por las duchas, los cuales se transmitieron por medio del bróker mqtt, el cual permitió la comunicación M2M entre el nodo de procesamiento y el nodo de transmisión, esta se puede observar en la Figura 13.

Casos de uso en la *captura* de datos,

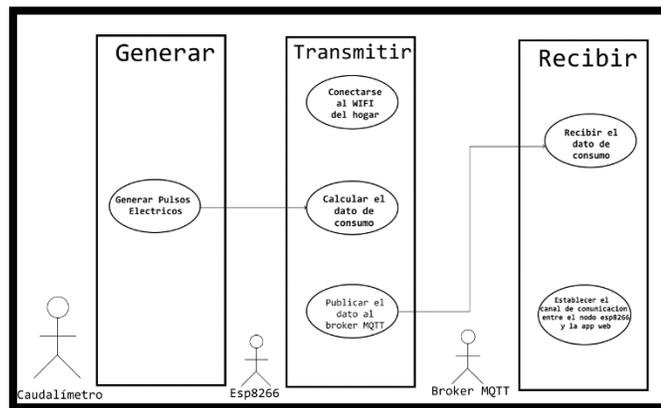


Figura 11 Casos de uso en la *captura* de datos, (fuente: autor)

Como se puede observar en esta Figura 19 de caso de uso, para generar, transmitir y recibir los datos de consumo es necesario contar 3 dispositivos los cuales son:

- Caudalímetro: Dispositivo encargado de generar los pulsos eléctricos, los cuales se envían por medio de la conexión directa que posee el sensor con el módulo esp8266(Nodo de transmisión).
- Esp8266(Nodo de transmisión): Recibe los pulsos generados por el caudalímetro, calcula el dato de consumo con los pulsos recibidos, se conecta el bróker mqtt y finalmente publica los datos sobre el bróker mqtt.
- Broker mqtt: Este servicio cloud permite establecer un canal de comunicación entre el esp8266(Nodo de transmisión) y la aplicación web (Nodo de procesamiento).

También fue necesario definir las funciones del cliente, en este caso el cliente es el nodo de transmisión y el servidor el nodo de procesamiento, este cliente está conformado por los elementos mencionados anteriormente, las funciones del nodo de procesamiento son:

- Publicar datos por medio del bróker MQTT y el tópico asignado.
- Medir el consumo de agua y publicar el dato sobre el bróker mqtt, cada vez que el usuario utilice una ducha con un caudalímetro instalado.
- Convertir los pulsos generados por el caudalímetro en datos de consumo.
- Conectarse a la red wifi del hogar.

Estas funciones definidas permitieron el correcto funcionamiento del nodo de transmisión (cliente) en la red de sensores y permitieron la interacción con el nodo de procesamiento.

Además, en este diseño se tuvo en cuenta la cantidad de datos generados por cada uno de los dispositivos o como es el caso de esta implementación la cantidad de documentos JSON generados por el nodo de transmisión, este proceso de generación de documentos JSON se explicó más a detalle en la siguiente sección. Se realizó una estimación la cual se puede observar en la Figura 13, en donde se promedia la cantidad de datos generados mensual y anualmente, esto con el fin de buscar el tiempo de captura adecuado para ahorrar espacio en la base de datos.

### Documentos Json generados cada minuto por tiempo de captura

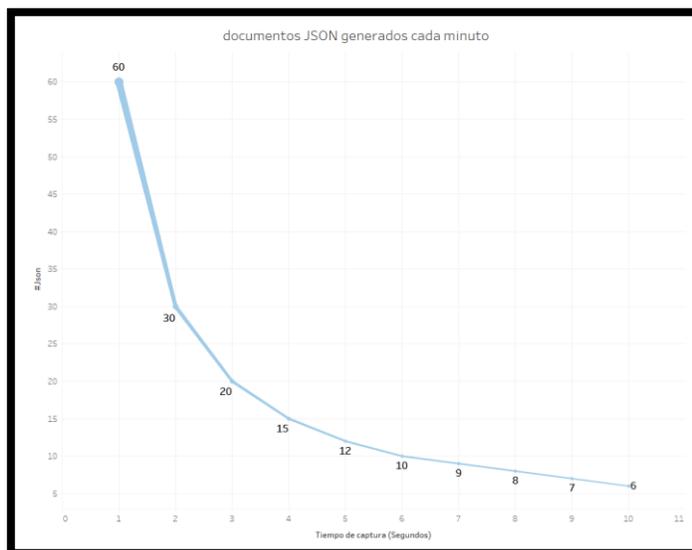


Figura 12 Documentos Json generados cada minuto por tiempo de captura, (fuente: Autor)

Para determinar la estimación de los documentos JSON generados cada minuto por nodo de transmisión, se consideraron diferentes tiempos de captura, pero para la implementación final se definió un tiempo de captura de 5 segundos el cual fue asignado en el nodo de transmisión. Este tiempo de captura permitió registrar el dato de consumo y publicarlo por medio del bróker MQTT.

Figura 13 Cantidad de datos generados por mes y año por tiempo de captura

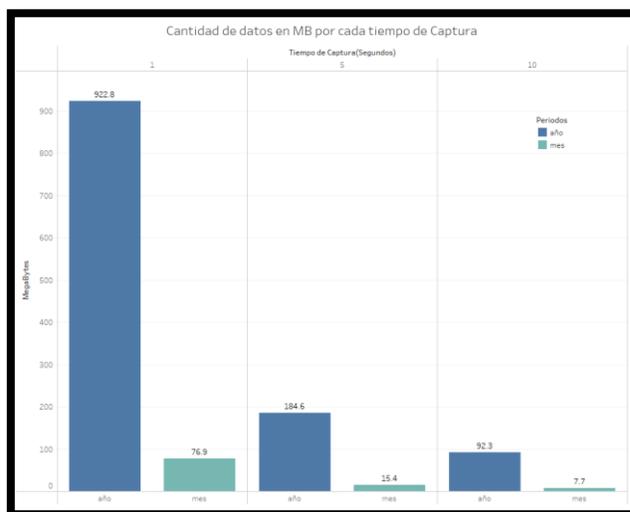


Figura 15 Cantidad de datos generados por mes y año por tiempo de captura, (fuente: Autor)

Por lo tanto, como se puede observar en la Figura 14, si se utiliza un tiempo de captura de 1 segundo se generarán aproximadamente al año 922.8MBs, pero si se utiliza un tiempo de captura de 5 segundos se reduce la cantidad de datos generados por la red de sensores un 80%. Además, capturar los datos cada 5 segundos permitió obtener un detalle de consumo y ahorrar espacio en la base de datos. Los elementos utilizados para la captura y transmisión de datos son los siguientes:

- Caudalímetro: permite la captura del caudal generado en ese momento, específicamente se utilizó el sensor YF-S201, siendo de bajo costo y muy baja precisión.
- Modulo esp8266: este permitió la conexión al wifi del hogar y la publicación de datos al bróker Mqtt.
- Un bróker Mqtt, se utilizó el bróker cloud, el cual permitió conectar los 4 nodos de transmisión y el nodo de procesamiento, de manera gratuita.

### 11.2.1 Consideraciones:

Los dispositivos necesarios para obtener un resultado similar en la implementación del diseño propuesto para la captura y transmisión de datos son el módulo esp8266 y el caudalímetro, por lo cual se debe considerar:

- Configurar un tiempo de captura mayor o igual a 5 segundos en el nodo de transmisión, el cual nos permite ahorrar espacio en la base de datos.
- Se recomienda utilizar un bróker mqtt cloud, el cual ayuda a reducir los costos de implementación, con este servicio cloud se evita la necesidad de adquirir una placa de desarrollo o computador en la cual se configura un broker y al ahorro de los costos electricos generados por estos dispositivos.
- Añadir los caracteres especiales al mensaje publicado sobre el bróker mqtt por el nodo de transmisión, necesarios para almacenar el detalle de los datos de consumo para cada hogar y dispositivo.

Estos son los elementos y las características, que permitieron ejecutar las funciones asignadas a cada dispositivo, las exigencias dadas por los dueños de los hogares, las recomendaciones del marco de referencia, y la correcta captura-transmisión de datos, además en esta sección se brindaron las debidas consideraciones a tener en cuenta a la hora de configurar e implementar los dispositivos encargados de la captura y transmisión de datos.

### **11.3 PROCESAMIENTO DE DATOS**

El procesamiento de datos está conformado por 3 servicios cloud, los cuales permitieron almacenar, transmitir, recibir y procesar los datos generados por el nodo de transmisión. Antes de mencionar los servicios cloud utilizados, fue necesario definir las funciones del servidor, en este caso el nodo de procesamiento es el encargado de cumplir las siguientes funciones:

- Establecer una conexión con el bróker y enviar los datos capturados por los nodos de transmisión a la base de datos.
- Obtener los datos de consumo por medio de la base de datos de cada uno de los hogares y dispositivos.
- Alojarse la página web y la aplicación web encargada de obtener los datos de consumo.

Estas funciones definidas permiten una interacción entre todos los dispositivos de la red de sensores y los clientes por medio de la aplicación web alojada en el servidor, los servicios cloud utilizados son:

#### **11.3.1 Comunicación entre el nodo de transmisión y el nodo de procesamiento:**

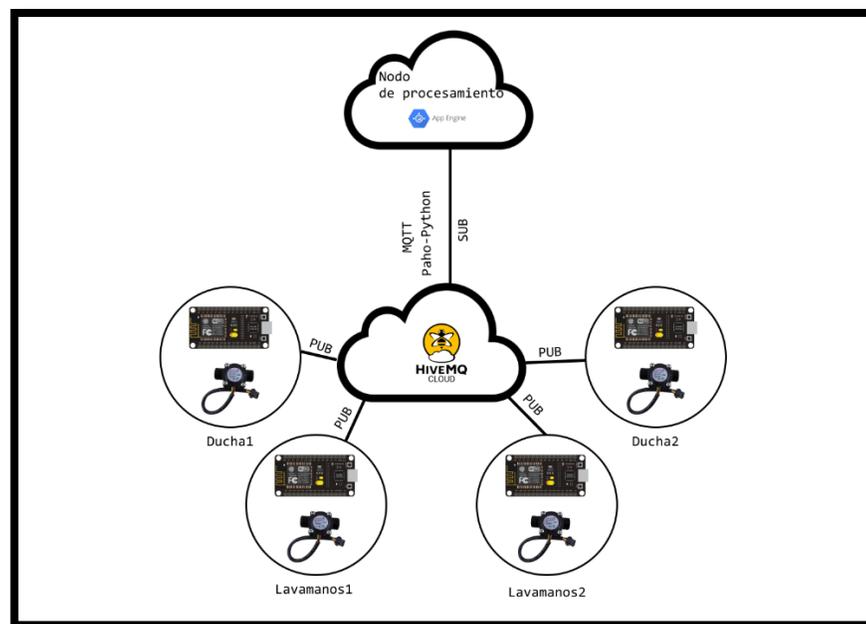
El bróker Mqtt es el componente de la red encargado de establecer la comunicación M2M, lo cual permitió la conexión entre el nodo de transmisión y el nodo de procesamiento, donde se publican los datos de consumo capturados por el nodo de transmisión, estos datos contemplaron las siguientes características:

- El dato de consumo debe ser un número de coma flotante.
- Separar el nombre del hogar al que pertenece y el nombre del dispositivo y el dato de consumo con un “.”.

- Si el dato de consumo es igual a 0, este debe ser descartado por el nodo de transmisión

Estas características permitieron una comunicación M2M entre los nodos, gracias al uso de una cadena de caracteres se obtuvieron los datos de consumo, el nombre del dispositivo y el hogar al que pertenece el dispositivo. Sin la necesidad de crear tópicos diferentes para cada uno de los datos que se buscan medir y transmitir.

*Ejemplo de comunicación entre los nodos de transmisión y el nodo de procesamiento*



*Figura 14 Ejemplo de comunicación entre los nodos de transmisión y el nodo de procesamiento, (fuente: Autor)*

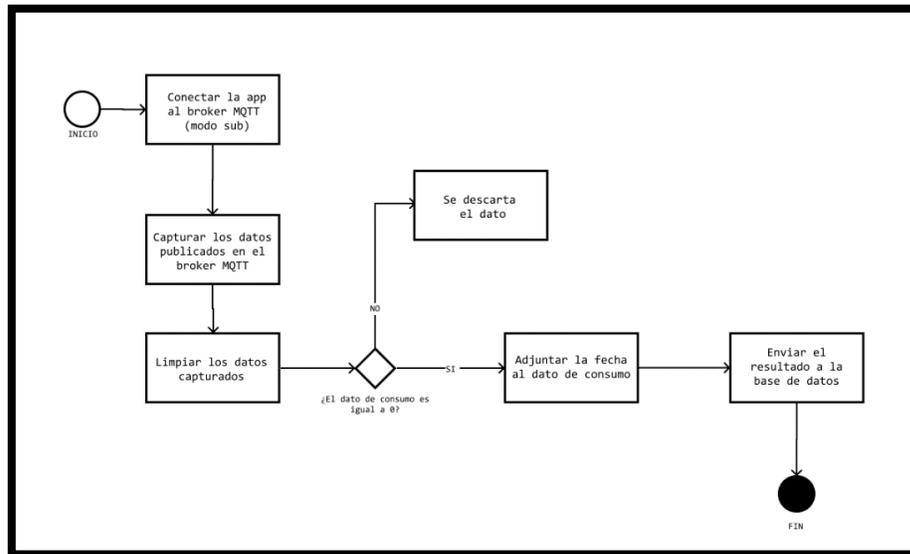
Se utilizó una librería de Python llamada Paho-Python<sup>43</sup> como se puede observar la Figura 16, esta librería de Python permitió conectar y suscribir la aplicación web al bróker Mqtt de hiveMQ y recibir los mensajes por medio del tópico establecido.

Cuando se obtienen los mensajes por medio del bróker, la cadena de caracteres se debe limpiar y dividir, ya que dentro de esta cadena se encuentra el nombre del hogar, del dispositivo y el dato de consumo.

<sup>43</sup> a(Eclipse Paho, n.d.)

Los datos obtenidos por medio de la cadena de caracteres permitieron crear un diccionario de Python, el cual se se convirtió en un documento JSON, en el cual se les agrego una fecha la cual indica el momento en el que se recibió el dato como se puede observar en la Figura 17 y se almacenaron dentro de la base de datos de mongoDB.

*Procesos del nodo de procesamiento*



*Figura 15 Procesos del nodo de procesamiento , (fuente: Autor)*

### 11.3.2 Almacenamiento de datos:

Antes de mencionar la base de datos utilizada, primero se identificaron las relaciones ente los usuarios y dispositivos de la red de sensores, estas relaciones permitieron brindar los datos necesarios a los usuarios estas se pueden observar en la Figura 18, cabe recalcar que el uso de una base de datos NoSQL no obliga a que todos los componentes estén totalmente relacionados y en vez de tablas se utilizan documentos los cuales se almacenan.

Diagrama Entidad-Relación red de sensores

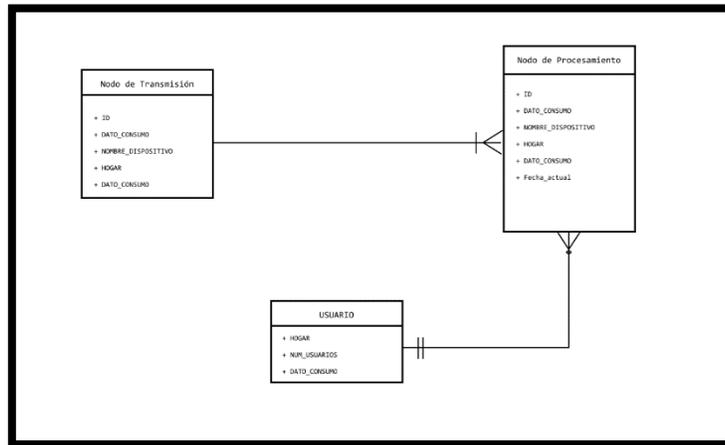


Figura 16 Diagrama Entidad-Relación red de sensores ,(fuente:autor)

Los dispositivos que comparten datos son: El Nodo de transmisión y el nodo de procesamiento, aunque el nodo de procesamiento se trate como un solo dispositivo se divide en dos entidades el nodo de procesamiento y el usuario, ya que con este nodo el usuario puede interactuar con la aplicación web y la red de sensores para obtener el dato de consumo.

Como se mencionó, el uso de una base de datos NoSql como lo es mongoDB, permitió el almacenamiento de documentos JSON, estos documentos están conformados por un par “clave:valor”, los cuales se generan al momento recibir los mensajes publicados en el bróker Mqtt por medio de la aplicación web. Estos documentos los tipos de dato de cada par son:

*Tipos de datos del documento Json generado*

<b>Objeto: Consumo generado</b>	
Hogar	String
Dispositivo	String
Dato	float
fecha	timestamp
mes	int
dia	int

*Figura 17 Tipos de datos del documento Json generado ,(fuente: autor)*

Estos pares permiten almacenar y organizar los datos de consumo, creando un registro de consumo por dispositivo al usuario, cada clave posee un tipo de dato como se puede observar en la Figura 19, como se utilizó una base de datos NoSQL se utilizó una colección, ya que este tipo de base de datos no almacena datos las cuales almacenan registros si no que almacenan documentos JSON.

Fue necesario establecer una conexión entre la base de datos y la aplicación web, para esto se utilizó una librería llamada PyMongo, la cual permitió interactuar con cualquier base de datos de MongoDB, además como se utilizó un servicio de base de datos cloud(MongoDB Atlas) la conexión entre la base de datos y la aplicación web se encuentra disponible 24/7, permitiendo al usuario realizar consultas a cualquier hora del día.

Además, esta librería permitió la interacción entre la aplicación web y la base de datos, por medio de búsquedas, eliminación de datos y entre otras funciones que permite MongoDB, para comprender mejor lo mencionado anteriormente, se realizó un flujograma el cuál muestra el ciclo de los datos dentro y fuera de la red de sensores, este se puede observar en la Figura 20.

### Funcionamiento de los datos

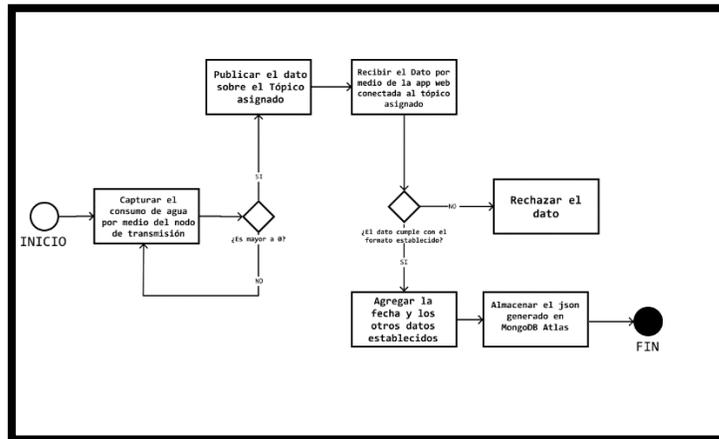


Figura 18 Funcionamiento de los datos, (fuente: Autor)

Desde que el nodo de transmisión captura el flujo de agua hasta que se almacena en la base de datos, estos datos son utilizados en todo momento ya sea para hacer verificaciones por parte del nodo de transmisión y procesamiento o cuando los usuarios realizan consultas desde la aplicación web para verificar su consumo de agua.

#### 11.3.3 Aplicación web:

Gracias al servicio AppEngine de Google cloud platform, en donde se despliega y aloja la aplicación web (Nodo de procesamiento), en donde se recibe, procesa, transforma en documentos json y se envía los datos generados por los nodos de transmisión a la base de datos. Además, también se configuró la interfaz gráfica, en la cual el usuario puede visualizar los datos generados por la red de sensores.

El alojamiento de la página web fue posible gracias al microframework de python llamado flask, el cual permite crear API's y páginas web de una manera muy simple<sup>44</sup>, además este posee una alta compatibilidad con diferentes librerías de Python, permitiendo la integración con otros módulos y componentes en la aplicación web, los cuales permitieron la interacción del usuario con la red de sensores.

En esta sección se mencionaron los 3 servicios cloud utilizados en el prototipo propuesto, estos 3 servicios cloud permitieron el procesamiento de los datos, el

<sup>44</sup> a(Salo, 2020)

alojamiento de la página web y el almacenamiento de los datos, permitiendo la interacción de los usuarios de los hogares con la red de sensores.

Con todo esto, cabe recalcar que estos servicios poseen un rango gratuito y la implementación con el diseño propuesto, aplican para este rango, cumpliendo con las exigencias de los dueños y las recomendaciones del marco de referencia.

#### **11.3.4 Consideraciones**

Gracias al uso de servicios cloud se redujeron costos, además implementar servicios cloud para el diseño propuesto requiere menos configuraciones a comparación de implementar servicios locales y facilitan el acceso por parte de los usuarios a la aplicación web sin la necesidad de estar dentro de la red local, para ejecutar una implementación y configuración exitosa se recomienda:

- Utilizar un servicio cloud de tipo PaaS (Platform as a Service) como lo es AppEngine de Google Cloud Platform, gracias a este servicio se evita la necesidad de utilizar un computador o una raspberryPI para alojar nuestra aplicación web y los costos adicionales que conllevan las implementaciones locales.
- Es necesario identificar las relaciones entre los dispositivos y los datos que comparten, facilitando la implementación y configuración de la base de datos, en este caso una de tipo NoSQL y en caso de medir diferentes parámetros por diferentes hogares una base de datos NoSQL permite almacenar datos en una colección, sin la necesidad de que todos los hogares posean los mismos parametros.
- Utilizar servicios cloud evita algunas configuraciones extras en la topología de red, el diseño de la red y finalmente la implementación.
- Se recomienda utilizar un bróker mqtt cloud, gracias a esto se evita la necesidad de configurar un bróker mqtt por cada hogar lo cual genera aumento en los costos de la implementación para cada hogar y desaprovechamiento de recursos.

## 11.4 VISUALIZACIÓN DE DATOS

La visualización de los datos se realizó por medio de la aplicación web, en la cual el usuario puede interactuar, por medio de una interfaz gráfica propuesta. Como se puede detallar en el diagrama de caso de uso cuando un usuario accede a la página web de la Figura 20.

, Diagrama caso de uso del usuario

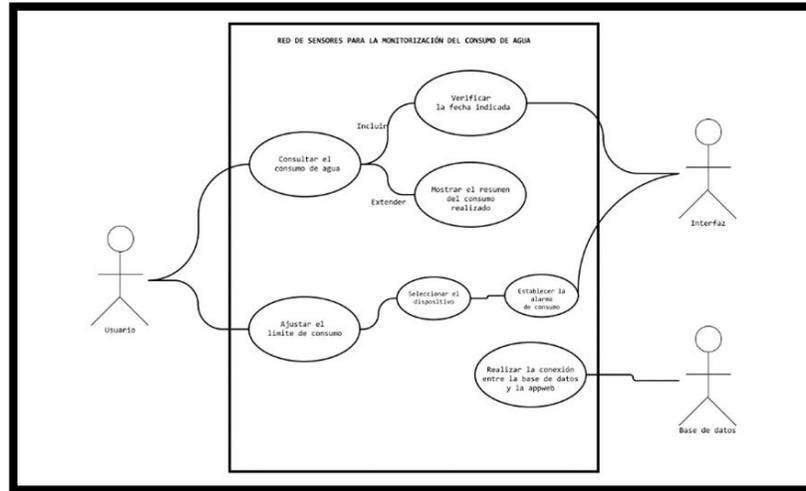


Figura 19, Diagrama caso de uso del usuario, (fuente: Autor)

Como se puede observar en la Figura 21, los actores involucrados en la visualización de datos son: El usuario, la Interfaz (Página web) y la Base de datos. En este caso el usuario puede obtener el consumo de su hogar y ajustar el número de personas que se encuentran en el hogar, siendo un dato clave para definir el estado de consumo, como la aplicación web tiene una conexión con la base de datos esta puede realizar consultas directamente a la base de datos y obtener el detalle del consumo y brindar la información a cada usuario que ingrese a la página web.

Además, los usuarios únicamente interactúan con la página web y la activación de las duchas.

Se busca una interfaz gráfica sencilla para esta aplicación web, ya que busca que los usuarios comprendan la información rápida y sencilla.

Lo cual fue necesario utilizar una paleta de colores sencilla y agradable para la vista, evitando confusiones por el exceso de colores, como se buscaba crear una aplicación donde los usuarios se puedan ingresar desde cualquier dispositivo fue

necesario crear una página web con un diseño responsable, esto fue posible gracias al uso del Framework Bootstrap como se puede observar en la Figura 22.

### Interfaz Gráfica



Figura 20 Interfaz Gráfica ,(fuente: Autor)

Las acciones que puede realizar el usuario con la interfaz de la Figura 22 son los mismo establecidos en la Figura 21 los cuales son:

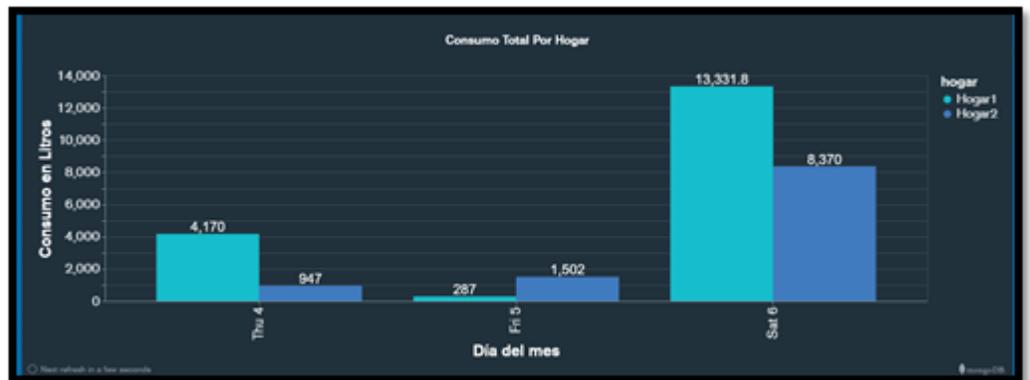
- Si el usuario es un administrador:
  - Administrar los hogares.
  - Ver el consumo por hogar o de todos los hogares
  - Visualizar los datos de consumo de todos los usuarios
  
- Si el usuario es un Cliente:
  - Visualizar los datos de consumo de su hogar.
  - Visualizar la estimación del costo mensual de agua por dispositivo

Para una mejor visualización de datos se utilizaron 2 herramientas, las cuales son:

## GRAFICA DEL CONSUMO DIARIO TOTAL POR HOGAR:

La grafica de consumo, muestra los datos por cada uno de los hogares, en esta grafica únicamente se tiene en cuenta el total diario de cada hogar como se puede observar en la Figura 23.

*consumo total diario por hogar*



*Figura 21 consumo total diario por hogar ,(fuente: Autor)*

Para esta visualización se utilizó un histograma, el cual muestra el total de cada hogar por cada día de la semana.

## RESUMEN DEL CONSUMO POR DISPOSITIVOS DE CADA HOGAR:

*Resumen por dispositivo*



*Figura 22 Resumen por dispositivo, (fuente: Autor)*

Como se puede observar en la figura 24, cada vez que el usuario selecciona su hogar y el número de personas, se genera un resumen por cada dispositivo en este caso una ducha con un caudalímetro en la página web.

Estos resúmenes se generan de manera automática (Esto se detalló en el siguiente capítulo), esto con el fin de generar resúmenes por cada uno de los dispositivos que cada hogar desee agregarle un caudalímetro, aunque para esta implementación solo se tuvieron en cuenta las duchas, además en estos resúmenes se indican el consumo mensual y diario.

Se brinda un estado del gasto generado en ese momento, estos estados se hallaron gracias al uso de agua mensual recomendado por la EPM, el cual indica que cada persona debe consumir mensualmente máximo 3800 Litros de agua en el hogar<sup>45</sup>, los estados de consumo definidos a partir del recomendado por la EPM son:

- Consumo Bajo: Cuando el consumo de agua del dispositivo es 1.5 veces menor al recomendado.
- Consumo Aceptable: Cuando el consumo de agua del dispositivo cumple con el mínimo recomendado.
- Consumo Elevado: Cuando el consumo de agua del dispositivo es 1.5 Veces mayor que el recomendado.
- Consumo Considerado Desperdicio: Cuando el consumo de agua del dispositivo es 2 veces mayor que el recomendado.

Cada uno de estos estados permitirá a los usuarios del hogar verificar si su consumo es apto por medio del resumen como se puede observar en la Figura 24 y así posiblemente generar un ahorro de agua. Además, cada estado de consumo se adecua al número de personas seleccionado por el usuario.

Además, se creó una sección en la página web en donde el usuario puede ver el costo de agua estimado del mes, en el cual se puede observar cuales dispositivos son los que generan más costos a la hora de pagar el recibo correspondiente de agua, este resumen se puede observar en la Figura 25.

---

<sup>45</sup> (Uso inteligente del agua, Empresas Públicas de Medellín, 2017)

## Estimación del costo mensual en un hogar

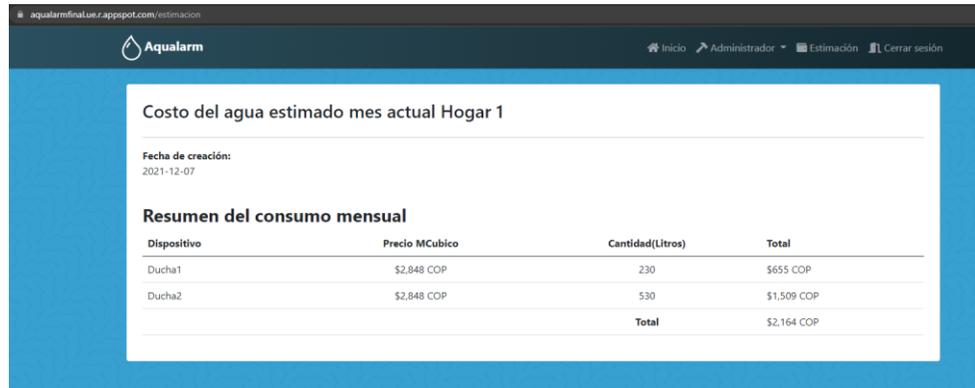


Figura 23 Estimación del costo mensual en un hogar, (fuente:Autor)

### 11.4.1 Consideraciones

Este es el componente más importante de la red de sensores, ya que es donde los usuarios interactúan con la página web y así poder obtener los datos recolectados por la red de sensores, para permitir una buena interacción se recomienda:

- El uso de graficas sencillas de interpretar, permiten a los usuarios detallar los datos de consumo de manera rápida, por lo cual se recomienda evitar tipos de graficas complejas a la hora de mostrar los datos recolectados por la red de sensores.
- Para brindar un dato más detallado, los estados de consumo se crean en base a los hábitos y consumos de agua recomendados de la ciudad, como es el caso de la ducha donde los estados de consumo se basaron al consumo recomendado por la EPM, y en base a esta recomendación se crearon distintos estados de consumo los cuales brindan una idea acerca del consumo realizado por los usuarios, y en caso de medir el consumo de otro dispositivo se recomienda lo mencionado en el capítulo 9.

La creación de los diseños para cada componente de la red de sensores permitió el uso de las herramientas seleccionadas en el capítulo 10 y cumplir con las exigencias de los dueños de los hogares, además se establecieron unas consideraciones de diseño las cuales permitieron la implementación de la red de sensores y se recomiendan seguir para lograr un resultado similar.



## 12. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE SENSORES EN EL HOGAR

En este capítulo se evidenciaron los procesos utilizados para implementar la red de sensores en el hogar, cabe mencionar que únicamente se utilizó un sensor como ejemplo en este capítulo, lo cual facilita la explicación de los procesos utilizados.

El funcionamiento de los 4 sensores se puede evidenciar en las pruebas realizadas, las cuales se pueden encontrar en el anexo B, este capítulo se dividirá en 3 secciones, las cuales son:

### 12.1 CONFIGURACIÓN DEL NODO DE TRANSMISIÓN:

La configuración de este nodo de transmisión se realizó por medio de la extensión de visual studio code, llamada PlattformIO, esta extensión permite cargar el código, visualizar los procesos por medio de un monitor serial e instalar diferentes librerías dependiendo de la placa de desarrollo y las necesidades, antes de ubicar el nodo de transmisión en la ducha donde se capturan los datos, se configuro el módulo esp8266 con las siguientes funciones:

- Conectarse a la red wifi del hogar.
- Conectarse al bróker MQTT cloud.
- Calcular el consumo de agua en litros por segundo (cada 5 segundos)
- Publicar los datos de consumo al bróker MQTT

Para permitir la conexión a la red wifi del hogar y al bróker MQTT y su respectivo tópic, se configuraron las variables que se pueden observar en la figura 26.

*configuración del servidor MQTT y red wifi en el esp8266*

```
//Configuración básica para asignarle un broker seguro mqtt
const char *mqtt_server = "SERVIDOR DEL BROKER MQTT";
const int mqtt_port = 8883;
const char *mqtt_user = "USUARIO BROKER MQTT CLOUD";
const char *mqtt_pass = "CLAVE BROKER MQTT CLOUD";
const char *root_topic_subscribe = "TOPICO DONDE SE SUSCRIBIRA EL DISPOSITIVO";
const char *root_topic_publish = "TOPICO DONDE SE PUBLICARAN LOS DATOS DE CONSUMO";
const String clientId = "NOMBRE DEL DISPOSITIVO MAXIMO 10 CARACTERES";
const String hogarID = "NOMBRE DEL HOGAR";
//Configuración básica para asignarle una red wifi al esp8266
const char* ssid = "NOMBRE DE LA RED WIFI";
const char* password = "CLAVE WIFI";
```

*Figura 24 configuración del servidor MQTT y red wifi en el esp8266 , (fuente: Autor)*

En este caso se utilizó un bróker MQTT seguro el cual requiere el uso del puerto 8883, un usuario y una contraseña para permitir la publicación de datos por medio del bróker. Estos datos se pueden obtener por medio del panel de control del bróker MQTT para esta configuración se utilizó el servicio ofrecido por HiveMQ, como se observar en la Figura 27.

Panel de control HiveMQ

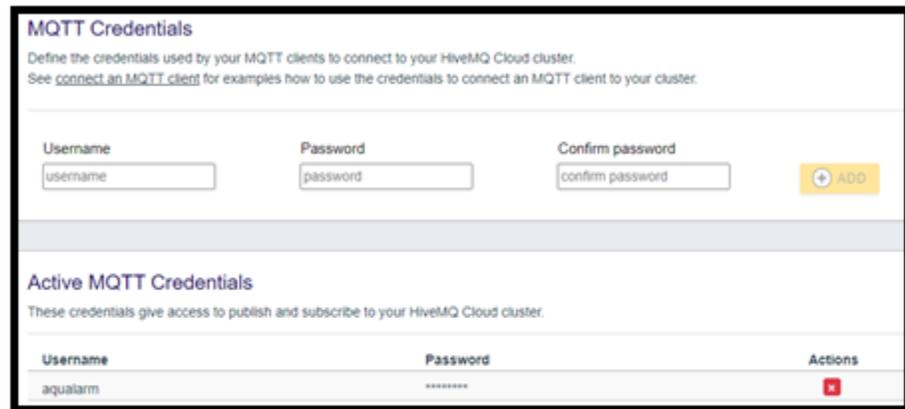


Figura 25 Panel de control HiveMQ, (fuente: Autor)

Después de configurar los parámetros que permiten la conexión wifi y el acceso al bróker MQTT, se procedió a configurar la función encargada de medir el dato de consumo cada 5 segundos, como se puede observar en la Figura 27.

Rutina encargada de capturar y publicar los datos



Figura 26 Rutina encargada de capturar y publicar los datos , (fuente: Autor)

La rutina que se puede observar en la figura 21, permite al módulo esp8266, publicar el dato de consumo que se obtiene cada 5 segundos y publicar la cadena de caracteres con los parámetros establecidos en el capítulo anterior al tópico asignado anteriormente.

Después de configurar las funciones principales, se procedió a instalar el caudalímetro en una ducha como se puede observar en la Figura 29, para este ejemplo se creó un dispositivo llamado “DuchaTest” en un hogar llamado “HogarTest”, estos datos son necesarios para identificar y diferenciar cada uno de los dispositivos, ya que se generará un dispositivo con este nombre en el hogar asignado, este es únicamente un ejemplo ya que para la toma de datos del Anexo B se utilizaron otros nombres.

*Caudalímetro instalado en la ducha*



*Figura 27 Caudalímetro instalado en la ducha , (fuente: Autor)*

Después de instalar el caudalímetro en la respectiva ducha, inmediatamente al abrirla el sensor captura el flujo de agua y el nodo de transmisión procede a ejecutar la rutina de la Figura 28, después de transmitir los datos generados por el sensor, se puede observar el resumen generado por dispositivo en la página web, tal como lo ilustra la Figura 30.



Figura 28 Resumen ducha de prueba, (fuente: Autor)

Cuando se observa el dispositivo en la interfaz gráfica de la aplicación web, significa que el nodo de transmisión cumple con los parámetros establecidos en los capítulos anteriores y está listo para medir el consumo de agua.

## 12.2 CONFIGURACIÓN DEL NODO DE PROCESAMIENTO:

La configuración del nodo de procesamiento consta de una aplicación web, conformada por 3 elementos que son: la captura de datos, el almacenamiento de datos y la página web. Para la captura de datos se alojó una aplicación web en el servicio AppEngine de GCP.

En esta implementación se utilizó el lenguaje de programación Python y las librerías: Paho-Python y PyMongo. También un framework de desarrollo web llamado Flask. Para poder alojar el código de la aplicación web, principalmente se creó un proyecto en GCP, como se puede observar en la Figura 30.

### Proyecto creado en GCP

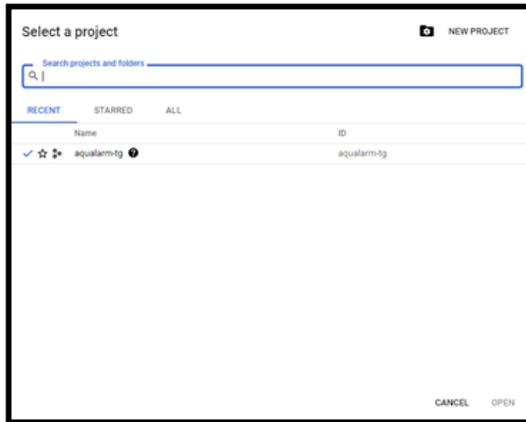


Figura 29 Proyecto creado en GCP, (fuente: Autor)

Los elementos que forman el nodo de transmisión son:

#### 12.2.1 Captura y almacenamiento de datos:

Estos dos procesos están ligados ya que al momento de que se recibe un mensaje publicado por un nodo de transmisión en el bróker Mqtt, el dato se procesa y convertirá en un documento Json el cual se almacenará en la base de datos.

Para capturar los mensajes publicados por cada nodo de transmisión se debe utilizar la librería Paho-Python, esta con el fin de permitir la suscripción del nodo de procesamiento al bróker Mqtt y recibir los mensajes publicados por los nodos de transmisión, la configuración utilizada se puede observar en la Figura 32.

Figura 30 configuración de la librería Paho-Python

```
client = mqtt.Client()

# se activa el TLS ya que se esta utilizando el broker 8883
client.tls_set(tls_version=mqtt.ssl.PROTOCOL_TLS)

# utilizamos la clave asignada en el broker cloud
client.username_pw_set("test_user", "clave")

# nos conectamos al broker cloud de HiveMQ por medio del puerto 8883
client.connect("b4e966adf78e4723a266dd334fa01e68.s1.eu.hivemq.cloud", 8883)
#print("conectado al broker!")
# Nos suscribimos al topico que nos interesa
client.subscribe("aqualarm/consumotest")
client.on_message = on_message
client.loop_start()
```

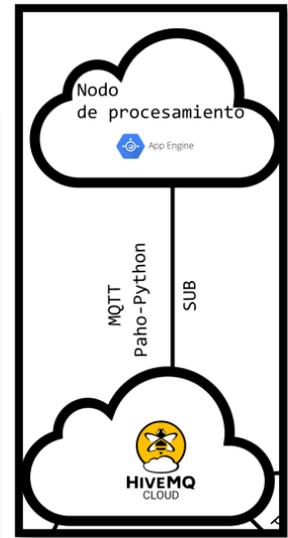


Figura 31 configuración de la librería Paho-Python, (fuente: Autor)

Al momento de recibir la cadena de caracteres, esta se separa y almacena en un arreglo de datos. Como se estableció una plantilla para manejar los datos generados por el nodo de transmisión en el capítulo anterior, se puede evidenciar que el proceso utilizado para almacenar los datos en un documento JSON es posible utilizando Python, como se puede observar en la Figura 33.

Método encargado de convertir el mensaje publicado en el bróker MQTT

```
def on_message(client, userdata, msg):  
  
    ar = msg.payload.decode("utf-8")  
    ar = str(ar)  
    p = ar.split(":")  
    print(ar)  
  
    base = {  
        "hogar": p[0],  
        "dispositivo": p[1],  
        "data": float(p[2]),  
        "fecha": datetime.now(hora_bogota),  
        "mes": datetime.now(hora_bogota).month,  
        "dia": datetime.now(hora_bogota).day  
    }  
  
    a = p[1]  
  
    NOMBRE DE LA COLECCION.insert(base)  
    print(p[1])  
    print("Mensaje recibido del topico: " + msg.topic + " -> " + msg.payload.decode("utf-8"))
```

Mensaje recibido del topico: aqualarm/consumo -> HogarTest:DuchaTest:0.01

Figura 32 Método encargado de convertir el mensaje publicado en el bróker MQTT, (fuente: Autor)

Después de limpiar y separar la cadena de caracteres, se procede a almacenar cada dato a la clave asignada y así formar un par “clave:valor”, en este caso se utilizaron los diccionarios de Python, los cuales pueden convertirse en objetos JSON, los cuales se insertan directamente a la base de datos desde la aplicación web, esto es gracias a la librería PyMongo.

Para enviar el dato de consumo por medio de la aplicación principalmente se deben brindar los siguientes datos: la dirección de la base de datos, el usuario, una contraseña y como es una base de datos de documentos la colección a la cual se desea acceder, la configuración se puede observar en la Figura 34.

Figura 33 Conexión a la base de datos por medio de PyMongo

```
client = pymongo.MongoClient("mongodb+srv://usuario:password@aqualarm-beta.ejmob.mongodb.net/eyJfirstDatabase/retryWrites=true&majority")  
db = client.water_devices  
coleccion = db.aqualarm
```

Conexión a la base de datos por medio de PyMongo , (fuente: Autor)

Para poder acceder a una base de datos, se debe crear un cluster en MongoDB Atlas como se puede observar en la Figura 35, para la creación de este cluster únicamente se requiere una cuenta en el servicio ofrecido por MongoDB y seleccionar el plan requerido.

### Cluster creado en mongoDB Atlas



Figura 34 Cluster creado en mongoDB Atlas ,(fuente: Autor)

Como se configuraron correctamente los módulos encargados de capturar y almacenar los datos generados por los nodos de transmisión, los datos transformados y adjuntados en un diccionario de Python, se pueden observar por medio de una herramienta llamada MongoDB compass, a lo que hace referencia la Figura 36.

### Documentos Json almacenados en la base de datos

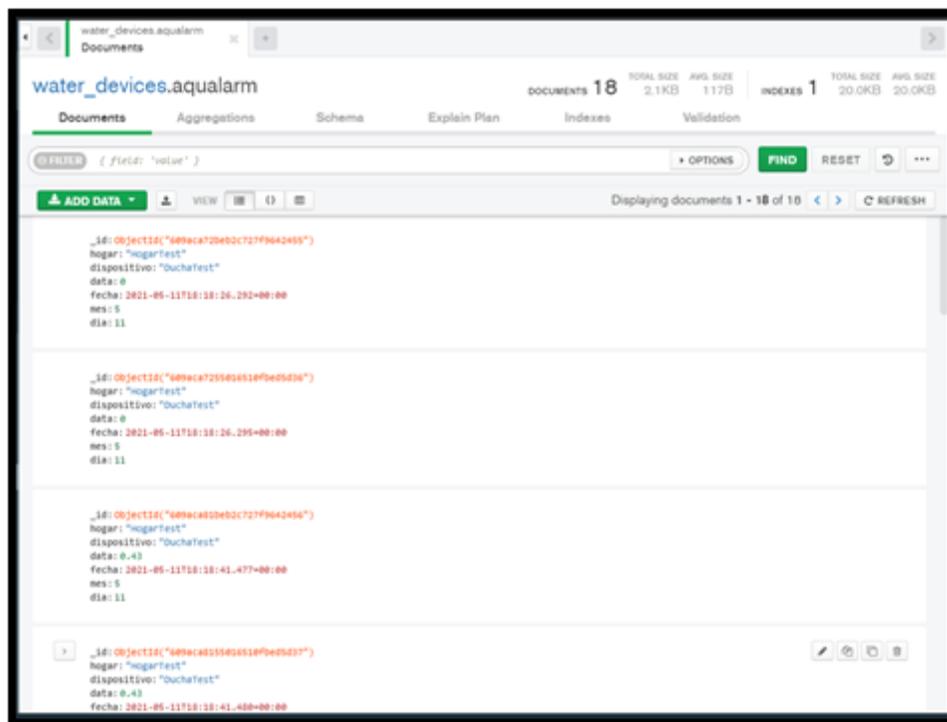


Figura 35 Documentos Json almacenados en la base de datos,(fuente: Autor)

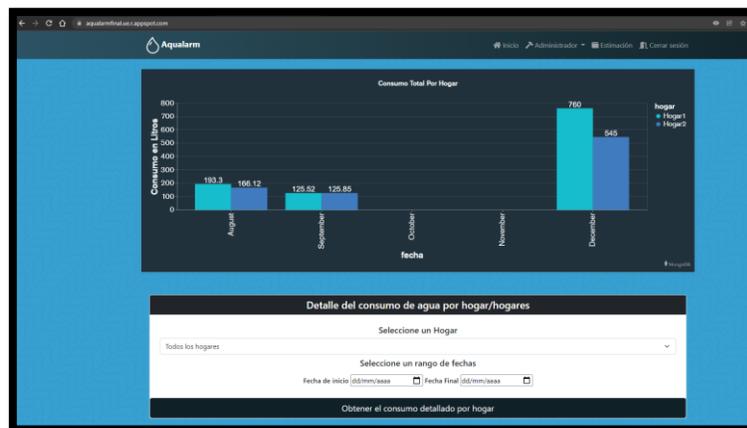
Como se pudieron observar los documentos Json, en la base de datos, se evidencia que las configuraciones realizadas, permiten la captura y el almacenamiento de los datos generados por los nodos de

transmisión, por lo cual se procede a crear la respectiva página web en la cual el usuario puede interactuar y visualizar los datos generados por la red de sensores.

### 12.2.2 Página web:

Para la creación de la página web se utilizó un microframework de Python llamado Flask, con el cual se realizó el desarrollo de la aplicación web, la cual permitió solicitar y/o enviar datos entre los diferentes módulos, crear una página web y permitir la conexión con el bróker mqtt para obtener los datos de consumo, la página web desarrollada se puede observar en la Figura 36.

*Página Web*



*Figura 36 Página Web , (fuente: Autor)*

Después de configurar las rutas de Flask, se pueden realizar búsquedas que brindan determinados datos por medio de la API. Para la interfaz gráfica se utilizó HTML, JavaScript, JQuery, Bootstrap y CSS, algunas partes del código se pueden observar en la Figura 38, pero en el Anexo A, se puede encontrar el link del repositorio de GitHub con el código fuente completo utilizado en esta implementación.

### Estructura HTML del estado de consumo



Figura 37 Estructura HTML del estado de consumo ,(fuente: Autor)

Gracias a la interacción entre la base de datos y la aplicación web se puede observar que la página web funciona correcto como se puede observar en la Figura 37, la cual muestra una prueba real de la red de sensores, en la cual se midió el consumo de agua en distintos días y además se puede obtener el detalle de cada uno de los dispositivos.

## 12.3 VISUALIZACIÓN DE DATOS:

Como se mencionó en el capítulo anterior, en la visualización de datos se utilizaron dos herramientas, estas herramientas se configuraron de la siguiente manera:

### 12.3.1 Grafica del consumo diario total por hogar:

Esta grafica de consumo, se puede obtener gracias a una herramienta que ofrece MongoDB llamada MongoDB Charts, se configuraron los siguientes parámetros para obtener la gráfica del consumo diario total por Hogar:

- La base de datos y la conexión donde se encuentra los datos a graficar
- El tiempo en el cual se refresca automáticamente la base de datos
- Los colores y los nombres de los Ejes de la Grafica

### Interfaz de MongoDB Charts

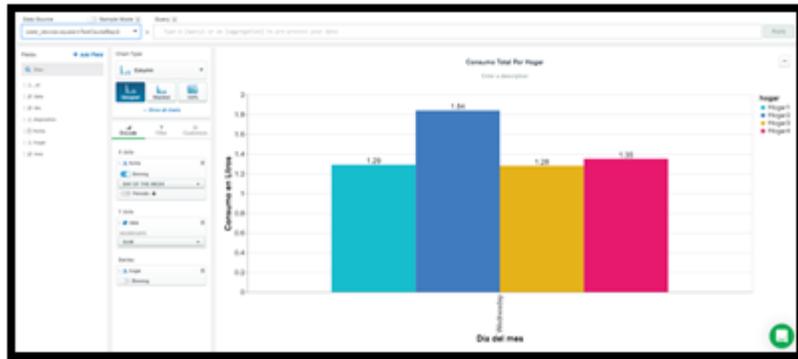


Figura 38 Interfaz de MongoDB Charts, (fuente: Autor)

Después de establecer los parámetros, se genera un código HTML, el cual se añadió en la interfaz gráfica configurada utilizada en la página web, este código se puede observar en la Figura 39.

### Integración de la gráfica de MongoChart en HTML

```
<div class="embed-responsive embed-responsive-100px text-center p-4" id="graficamongo">  
<iframe style="background-color: #21313c;border:none;border-radius: 2px;box-shadow: 0 2px 10px 0 #000;float: left; width: 70%; height: 400px; src="https://charts.mongodb.com/charts-aqalame-ybyz/embed/charts/16-f322ee64-4331-45bc-abf1-8e21a78fbb8a?colorScheme=dark"; /></div>
```

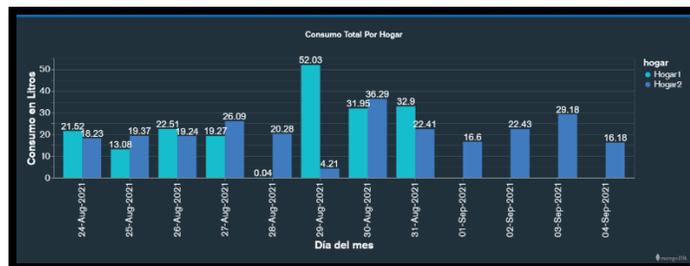


Figura 39 Integración de la gráfica de MongoChart en HTML, (fuente: Autor)

### Resumen del consumo por hogar:

Como se mencionó en el capítulo anterior, por cada hogar se generan resúmenes de cada uno de los dispositivos. Para esto se utilizaron queries de mongoDB y un Script de JavaScript el cual permitió generar estos resúmenes por cada dispositivo, el código encargado de realizar esta función se puede observar en la Figura 41.

### Script generador de resúmenes

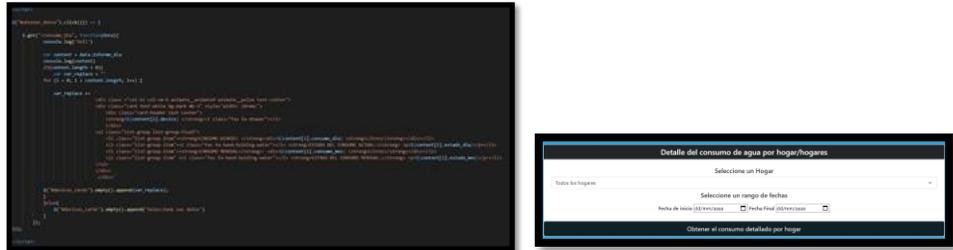


Figura 40 Script generador de resúmenes, (fuente: Autor)

Como se puede observar en la Figura 41, este código de javascript realiza solicitudes por medio de la API configurada en la aplicación web alojada en el servicio de appengine, en donde se solicita el nombre de cada uno de los dispositivos que están asociados al hogar seleccionado por el usuario y el consumo diario y mensual de cada dispositivo, por medio de solicitudes GET como se puede observar en la Figura 42

### Consumo diario



Figura 41 Consumo diario, (fuente: Autor)

Después de obtener los resúmenes de consumo, ya sean mensuales o diarios, se generaron los respectivos estados, por cada uno de los resúmenes, estos permiten al usuario conocer detalladamente el consumo que posee como se puede observar en la Figura 43.

### Generador de estados de consumo

```
def estado_diario(datos):  
    consumo_promedio = 127 #litros de consumo mensual aceptables de consumo por persona  
    consumo_aptos_total = consumo_promedio * datos.personas  
    print(consumo_aptos_total%200/1.5)  
    consumo = datos.consumo_actual  
    nombre_dispositivo = datos.nombre  
    print(nombre_dispositivo.lower().find('fuga'))  
    fecha = 0  
    if (nombre_dispositivo.lower().find('fuga') != -1):  
        print('hola')  
        if (consumo < (consumo_aptos_total%200/1.5)):  
            print('hola')  
            return('Consumo bajo, buen trabajo')  
    elif (consumo > (consumo_aptos_total%200/1.5) and consumo < (consumo_aptos_total%200)):  
        return('Consumo aceptable, cumple con el consumo recomendado')  
    elif (consumo > (consumo_aptos_total%200) and consumo < (consumo_aptos_total%200*2)):  
        return('Consumo elevado, te recomendamos reducir tu consumo')  
    elif (consumo >= (consumo_aptos_total%200*2)):  
        return('Este consumo es considerado desperdicio, verifica tus dispositivos puede ser un problema de fuga')
```

**ESTADO DEL CONSUMO ACTUAL:**  
Consumo bajo, buen trabajo

**ESTADO DEL CONSUMO MENSUAL:**  
Consumo bajo, buen trabajo

Figura 42 Generador de estados de consumo ,(fuente: Autor)

Para finalizar este capítulo el proceso utilizado a la hora de implementar la red de sensores y su respectiva aplicación web, permitió el almacenamiento, procesamiento y visualización de los datos generados por los diferentes nodos de transmisión, permitiendo la interacción entre el usuario y la red de sensores.

## 13. EVALUACIÓN DE LA RED DE SENSORES

Para finalizar con el propósito del trabajo de grado se evaluó las funciones básicas de la red de sensores propuesta, el posible impacto que podría causar esta implementación en el consumo del agua en estos hogares y una prueba a la red de sensores en los dos hogares. Por lo tanto, este capítulo se dividió en 3 secciones, la primera sección trata sobre una evaluación del funcionamiento de la red de sensores y la precisión de los datos capturados, la segunda sección tratara sobre qué impacto puede causar esta red de sensores en el consumo de agua de los hogares donde se instaló y la tercera sección tratara sobre una prueba con los usuarios de los hogares.

### 13.1 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE SENSORES.

Se verifico el funcionamiento de la red de sensores, evaluando las conexiones del nodo de transmisión, esta verificación se realizó de dos maneras, las cuales son la generación de un mensaje indicando la conexión exitosa wifi del nodo de transmisión y una monitorización de la red por medio del protocolo SMNP.

Como el módulo posee una conexión a la red wifi del hogar y acceso al bróker mqtt, se verifico por medio del monitor serial esta conexión, como se puede observar en la figura 44, donde el módulo esp8266 genero los mensajes de éxito, corroborando que la configuración utilizada es válida.

*Conexiones Exitosas*

```
Ya se encuentra conectado a la red wifi de su hogar
Su dirección IP es:
192.168.3.14
Intentando conexión Mqtt...Conectado al broker MQTT
Ya esta suscrito al topico asignado
```

*Figura 43 Conexiones Exitosas , (fuente: Autor)*

También se utilizó el protocolo SMNP específicamente la herramienta PRTG, siendo muy útil para la evaluación y verificación de la conexión de los componentes locales de la red de sensores.

Esta evaluación permitió identificar la latencia y la pérdida de paquetes del módulo esp8266(Nodo de transmisión) a la hora de publicar datos en el bróker Mqtt, lastimosamente no se pudo identificar el ancho de banda consumido por el módulo por medio del protocolo SMNP.

Los resultados de esta prueba se pueden observar en la Figura 45, en donde se puede evidenciar que existe una latencia promedio de 3ms entre el router del hogar y el módulo, además se obtuvo una pérdida de paquetes del 2%, esta perdida se debe a una desconexión que se realizó en ese momento para comprobar el funcionamiento de la función encargada de reconectar el módulo esp8266 a la red del hogar y al bróker mqtt.

Figura 44 pruebas de conexión del módulo ESP8266



Figura 45 pruebas de conexión del módulo ESP8266, (fuente: Autor)

Después de verificar las conexiones del nodo de transmisión y verificar que son exitosas, se realizó una prueba de calibración del caudalímetro YFS-201, este siendo un sensor económico de una calidad baja puede generar un sesgo significativo en los datos tomados, según su hoja de características, este posee un error de captura aproximado del 10%. Para esta prueba se tomaron diferentes muestras de agua en un balde, el cual fue previamente pesado para restar el valor y así poder obtener el valor real del agua que contiene el balde, y después compararlo con el valor medido por los caudalímetros de la red de sensores.

El proceso de medición, los resultados y las evidencias se pueden encontrar en el Anexo B, además se puede observar que el resumen por dispositivo se genera automáticamente como aparece en la figura 46, dando a entender que los nodos de transmisión se configuraron de manera correcta.

### Sensores instalados en las duchas 1 y 2 del hogar 1



Figura 46 Sensores instalados en las duchas 1 y 2 del hogar 1 , (fuente: Autor)

En la primera prueba realizada para verificar la calibración de los caudalímetros los cuales cumplen con las recomendaciones del marco de referencia y las exigencias de los dueños de los hogares, en esta prueba se obtuvo un error del 10% del dato de consumo calculado por el nodo de transmisión, tal como lo indica el fabricante, pero si se ajusta el volumen de agua obtenido se obtiene un error del 6%, en la segunda prueba se obtuvo un error del 8% sin ajustes y un 12% con ajustes.

A pesar del ajuste recomendado por la hoja de características de agua, el volumen de agua medido por los caudalímetros el error obtenido siempre rondaba entre el 8-12% de error, por lo que se evidencia la imprecisión de los caudalímetros seleccionados, si se desea mejorar el impacto que puede causar la red de sensores se deben considerar sensores de una mejor precisión y calidad.

Pese la imprecisión que generaron estos caudalímetros, se puede evidenciar que la red de sensores y su respectiva aplicación web funcionan correctamente, sus nodos de transmisión se conectan sin problema a la red, publicando datos al broker Mqtt (Como se puede observar en la figura 46). Donde estos datos se procesan y almacenan en una base de datos, y finalmente se visualizan por medio de un resumen del consumo realizado por cada dispositivo y el dato de consumo total de cada uno de los hogares por medio de la gráfica que se puede observar en la página web.

También se realizó una evaluación de la interfaz gráfica utilizada en la página web, la cual fue aceptada por parte de las personas que residen en los hogares

donde se realizó la implementación, se puede encontrar la encuesta completa en el anexo C.

### 13.2 IMPACTO QUE PUEDE CAUSAR LA RED DE SENSORES

Para medir el impacto que puede causar la red de sensores en estos hogares, se tuvo en cuenta el consumo mensual de cada hogar. En este caso se utilizó el consumo de la casa 1, en donde el precio del m<sup>3</sup> de agua en ese momento era de 1677.07\$ pesos en esa zona<sup>46</sup>. Al momento de realizar la prueba, se obtiene un consumo de 34m<sup>3</sup> de agua según el recibo del agua, lo que significa un consumo mensual de 17m<sup>3</sup> y diario de 0.56m<sup>3</sup>, significando un consumo aproximado de 560L de agua, en donde las duchas diariamente consumen aproximadamente 139L de agua al día, en la tabla 16 se puede observar la comparación entre el consumo recomendado y el consumo realizado por el hogar 1.

*Detalles de consumo en duchas del hogar 1*

	Consumo Hogar 1	Consumo Recomendado
<b>Consumo Mensual</b>	17000 litros	15200 litros
<b>Consumo Diario</b>	566,6 litros	506.6 litros
<b>Consumo Mensual Duchas</b>	4199 litros	3754.4 litros
<b>Consumo Diario de duchas</b>	139.96 litros	125.14 litros
<b>Consumo Anual de duchas</b>	50388 litros	45052.9 litros

*Tabla 16 detalles de consumo en duchas del hogar 1, (fuente: Autor)*

Como se puede observar en la tabla 17, se exceden los límites recomendados por la epm<sup>47</sup>, los cuales indican un consumo de 3800 Litros de agua al mes por persona, por lo que en este caso con 4 personas la cantidad de agua recomendada mensual debe ser de 15200 Litros o 15.2 m<sup>3</sup> de agua.

Si este hogar sigue los mismos hábitos se indicará por medio de la aplicación web un estado de gasto elevado, por lo que, si se logra reducir el estado de consumo a un estado aceptable, podrían generar un ahorro de 444.6 Litros de agua al mes, únicamente teniendo en cuenta las duchas. En la tabla 18 se puede observar

<sup>46</sup> (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2021)

<sup>47</sup> a(Empresas Públicas de Medellín, 2017)

la cantidad de agua que debe consumir este hogar por cada uno de los estados establecidos en el anterior capítulo y el porcentaje de ahorro que podría generar.

*Consumo Por estado y posible ahorro generado Hogar1*

Estado	Consumo por estado mensual	Diferencia con el consumo actual del hogar mensual	Porcentaje de ahorro mensual
<b>Bajo</b>	2502.933 litros	1696.067 litros	40.39%
<b>Aceptable</b>	3754.4 litros	444.6 litros	10.58%
<b>Elevado</b>	5631.6 litros	+1432.6 litros	+34.11%
<b>Desperdicio</b>	7508.8 litros	+3309.8	+78.82%

*Tabla 17 Consumo Por estado y posible ahorro generado Hogar1, (fuente: Autor)*

En la tabla 18 se puede observar cuánta agua puede ahorrar el hogar si logra establecer un consumo aceptable o bajo, también se puede observar unos datos en rojo lo que significaría la adopción de malos hábitos en este hogar.

Además si este hogar logra un consumo aceptable puede ahorrar un 10.58% del agua que consumen mensualmente en únicamente las duchas, esto es muy importante, lo cual podría generar un ahorro anual de 5335.2 Litros de agua o 5.3 m<sup>3</sup>, siendo este un ahorro aceptable, pero si las personas del hogar logran reducir el consumo un 40.39%, generarían un estado de consumo bajo mensual, obteniendo un ahorro de 20.8m<sup>3</sup> de agua anualmente, esto es equivalente a ahorrar un poco más del agua consumida mensualmente por este hogar.

También se midió el impacto que podría causar esta red de sensores en el segundo hogar en el cual viven únicamente 2 personas, el consumo mensual de estas dos personas es de 19m<sup>3</sup>, lo que significa 9.5m<sup>3</sup> mensuales, el impacto que podría causar se puede observar en la tabla 18.

*Consumo por estado y posible ahorro generado Hogar2*

Estado	Consumo por estado mensual	Diferencia con el consumo actual del hogar mensual	Porcentaje de ahorro mensual
<b>Bajo</b>	675.46 litros	1614.03 litros	70.49%
<b>Aceptable</b>	1013.2 litros	1276.3 litros	55.74%
<b>Elevado</b>	1519.8 litros	769.7 litros	33.61%
<b>Desperdicio</b>	2026.4 litros	263.1 litros	11.49%

*Tabla 19 Consumo por estado y posible ahorro generado Hogar2, (fuente: Autor)*

Como se puede evidenciar en la tabla 19, el hogar 2 posee un consumo mayor al del primer hogar, actualmente este hogar si se midiera su gasto de agua por medio de la red de sensores mensual, esta indicaría un estado de consumo de desperdicio, si este hogar logra alcanzar un gasto de agua aceptable, este reduciría un 55.74%, esto siendo el equivalente a 1.2m<sup>3</sup> de agua al mes lo que significaría 15.3m<sup>3</sup> al año. Además, en un escenario deseable si las personas de este hogar mejoran al máximo sus hábitos, podrían reducir un 70.49% el gasto mensual actual, lo cual podría generar un ahorro mensual de 1.6m<sup>3</sup> de agua, lo que significaría 19.3 m<sup>3</sup> de agua anualmente.

Estos impactos causados dependen de las decisiones que tomen las personas, además para esta implementación se evitó el uso de electroválvulas u otros elementos los cuales permiten restringir el consumo de agua en caso de superar sus límites diarios o mensuales, ya que esta red de sensores busca a las personas ser más conscientes del consumo que están realizando.

### **13.3 PRUEBA DE LA RED DE SENSORES EN LOS HOGARES**

Después de verificar el funcionamiento básico y medir el impacto que puede causar la red de sensores, se realizó una prueba en los dos hogares del diseño e implementación propuesta en los capítulos anteriores, después de instalar la red de sensores con las consideraciones de diseño establecidos, se realizó una prueba por 12 días con el fin de evaluar la red de sensores en un entorno real y la interacción que tuvieron los usuarios, en esta prueba únicamente el Hogar pudo participar los 12 días, ya que el Hogar 1 se encontró ausente algunos días de la prueba.

*+Prueba 12 Días red de sensores*



Figura 47 Prueba 12 Días red de sensores, (fuente: Autor)

Después de 12 días constantes de prueba como se puede evidenciar en la Figura 47 se tomaron los datos de captura, esta prueba permitió identificar algunos puntos de mejora del diseño planeado, para complementar esta información se realizó una encuesta a los usuarios del hogar los resultados de la encuesta se pueden encontrar en el Anexo C, gracias a los resultados de esta encuesta surgieron lecciones, puntos de mejora y conclusiones sobre la red de sensores diseñada, estos son algunos de los puntos más importantes:

- Únicamente el 66% de las personas utilizaron la aplicación web después de utilizar la ducha para checar el consumo de agua realizado, al parecer la aplicación web no es la solución más válida para que todos los usuarios chequen su consumo desde cualquier dispositivo.
- El 33% de las personas que participaron en la prueba de los 12 días, les pareció útil los datos de consumo brindados por la aplicación web.
- Únicamente al 16.6% de las personas que participaron en la prueba calificaron de excelente los estados de consumo y a un 50% sugirieron que los estados de consumo son útiles, pero no excelentes, a pesar de crear distintos estados de consumo estos no son suficientes para indicar manera sencilla los estados de consumo.
- Como varias personas utilizaron la misma ducha, se generaron confusiones a la hora de identificar el consumo realizado por persona, siendo un punto a mejora, ya que esto podría brindar estados de consumo para cada persona y no para el dispositivo.

- Un punto fuerte fue la calidad de los datos, en donde los usuarios estuvieron de acuerdo con el consumo medido por la red de sensores a pesar del 10% del error de medición que poseen los caudalímetros.

Estos son algunos de los puntos más importantes de la encuesta del Anexo C, el punto a mejorar para esta implementación a futuro es brindar un consumo detallado por persona sin importar el dispositivo que estos utilicen, pero a pesar de este punto a mejorar, la red de sensores cumplió con su funcionamiento básico e indicó los hábitos de consumo de las personas por medio de la aplicación web, aunque a pesar de los resultados positivos del funcionamiento, se evidenció en la Figura 47, que las personas de los hogares en pocas ocasiones los redujeron o mantuvieron el mismo consumo al día siguiente.

Conviene señalar que, a pesar de poseer un detalle del consumo realizado general por dispositivo, algunas personas no cambian sus hábitos de consumo, siendo necesario buscar métodos para que los usuarios utilicen más la aplicación y esta tenga la capacidad de brindar un consumo por persona, lo cual facilitaría a las personas que desean saber su consumo individual.

Para concluir con este trabajo de grado, el diseño y la implementación de la red fue un éxito, se evidenció que la red de sensores funciona correctamente a la hora de medir el consumo realizado por las duchas, evidentemente las personas son las encargadas de reducir sus consumos, pero esta implementación brinda una herramienta la cual ayuda a las personas a identificar el consumo general para cada uno de los dispositivos con un nodo de transmisión instalado del hogar y así poder cambiar sus hábitos si es necesario.

## 14. RECOMENDACIONES

- Para mejorar el impacto causado por esta red de sensores propuesta en este documento, se recomienda utilizar sensores con una mejor precisión, ya que brindara datos de consumo más exactos al usuario.
- Para ayudar a las personas a mejorar sus hábitos de consumo, se recomienda instalar sensores en más dispositivos que utilicen una cantidad de agua significativa.
- Se recomienda en caso de querer implementar la red de sensores en otro lugar diferente a los baños realizar un estudio sobre el consumo realizado en el lugar donde se instalará el dispositivo y verificar que se obtiene un consumo significativo para mejorar el impacto que puede causar la red de sensores.
- Tener en cuenta el gasto energético de los dispositivos electrónicos encargados de recolectar los datos y transmitirlos, ayudando a reducir los costos de la implementación y generando un beneficio ambiental.
- Implementar más estados por cada uno de los diferentes dispositivos que pueden existir en el hogar, podrían ayudar a las personas a cambiar sus hábitos de consumo, gracias al mayor detalle brindado por la aplicación web.

## 15. CONCLUSIONES

- Identificar los requerimientos básicos permitieron seleccionar las herramientas a utilizar en el diseño y en la implementación, gracias a las exigencias de los dueños y las recomendaciones brindadas por el marco de referencia.
- Comparar diferentes dispositivos electrónicos y servicios cloud, facilitó la identificación de las herramientas más aptas para la red de sensores, permitiendo el desarrollo del diseño y la implementación del prototipo propuesto en este documento.
- Implementar una red de sensores involucra decidir entre diferentes fabricantes o servicios, los cuales pueden ser útiles en la implementación, se puede evidenciar que únicamente esta selección depende de las habilidades y/o de los requerimientos del proyecto a trabajar.
- Implementar sensores de bajo costo requiere sensores de baja precisión los cuales afectan el impacto que puede causar el diseño de red de sensores propuesto en este documento, ya que estos generan datos poco precisos, por lo que actualmente las redes de sensores de bajo costo encargadas de medir el consumo de agua se ven afectadas por la precisión de estos mismos.
- Incentivar los proyectos Smart Water pueden generar nuevos hábitos de consumo responsable en estos hogares, permitiendo a los usuarios ser más conscientes y poseer un mayor control por medio de los estados generados en la aplicación web, estos ahorros únicamente dependen de la voluntad y necesidades de cada persona, las cuales pueden generar un ahorro de agua significativo, siendo ideal para combatir la escasez y el derroche de agua.

## BIBLIOGRAFÍA

- (12) *Arduino YF-S201 Flow Sensor calibration and usage - YouTube*. (n.d.). Retrieved May 11, 2021, from <https://www.youtube.com/watch?v=gHQzjZk2LjA&list=PLs2HXnhCcEV5hBqBB7fVaLT4CZYpMrZI&index=5&t=825s>
- AWS. (n.d.). *AWS Lambda – Pricing*. Retrieved May 12, 2021, from <https://aws.amazon.com/lambda/pricing/>
- Berg, J. (2013). The IEEE 802.11 Standardization Its History, Specifications, Implementations, and future. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Biggs, P., Garrity, J., & LaSalle, C. (2015). *Harnessing-IoT-Global-Development.pdf*. 61.
- Castrillón, Y. U. L. (2019). Estado del arte. *Energía Eólica.*, 27–66. <https://doi.org/10.2307/j.ctvckq8bk.5>
- Cisco. (2014). Fast Innovation requires Fast IT. *Cisco.Com*.
- CONTATEC. (n.d.). Caudalímetros Electromagnéticos EMI - EMT Manual de usuario. *Manual*. <https://www.contatec.es/wp-content/pdfs/MANUALES/30b - Caudalimetros Electromagnéticos EM - Manual de Usuario.pdf>
- Duque-Escobar, G. (n.d.). *Agua como bien público*. <http://ameblo.jp>
- Eclipse Paho. (n.d.). *paho-mqtt · PyPI*. Retrieved June 1, 2021, from <https://pypi.org/project/paho-mqtt/>
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2006). *Plan Maestro Acueducto Y Alcantarillado*. 39. [http://www.acueducto.com.co/wps\\_4/wps\\_4/contenidos/archivos/DocumentotecnicoDTS.pdf](http://www.acueducto.com.co/wps_4/wps_4/contenidos/archivos/DocumentotecnicoDTS.pdf)
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2021). *Tarifas\_EAAB\_ESP\_2021*.
- Empresas Públicas de Medellín. (2017). *Uso inteligente del agua*. 4–6. [http://www.epm.com.co/site/Portals/2/documentos/Uso inteligente del agua.pdf](http://www.epm.com.co/site/Portals/2/documentos/Uso%20inteligente%20del%20agua.pdf)
- ENEL. (2021). *Tarifario-abril-2021.pdf*.
- ESP8266 Wi-Fi MCU | Espressif Systems. (n.d.). Retrieved October 24, 2020, from <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>
- Evans, D. (2011). The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. *CISCO White Paper, April*, 1–78. [https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/ac79/docs/innov/IoT\\_IBSG\\_0411FINAL.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf) <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:The+Internet+of+Things+-+How+the+Next+Evolution+of+the+Internet+is+Changing+Everything#0>
- GCP. (n.d.). *Google Cloud Platform Pricing Calculator*. Retrieved May 12, 2021, from <https://cloud.google.com/products/calculator>
- Gil Mateus, E. (2011). Demanda de agua en hogares urbanos y cambios tarifarios en Bogotá. *Revista Finanzas y Política Económica*, 3(1), 71–90.
- González-Amarillo, C., Cárdenas-García, C., & Mendoza-Moreno, M. (2018). M2M system for efficient water consumption in sanitary services, based on intelligent environment TT - Sistema M2M para el consumo eficiente de agua en servicios sanitarios, basado en ambientes inteligentes. *Dyna*, 85(204), 311–318. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.68264>
- González Daza, E. (2015). *Red de sensores - Internet de las cosas*. 69. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55288/GONZÁLEZ - Red de Sensores y>

- el Internet de las cosas.pdf
- GSMA. (2017). Smart Water: A Guide to Ensuring a Successful Mobile IoT Deployment. *Gsma*, 17. [www.gsma.com/smartcities](http://www.gsma.com/smartcities)
- Guhl Nannetti, E. (2013). La región hídrica de bogotá - Capítulo Marco conceptual. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 37(144), 327–341. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-39082013000300005&lng=en&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-39082013000300005&lng=en&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v37](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082013000300005&lng=en&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082013000300005&lng=en&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v37)
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). Metodología de la investigación. In *Metodología de la investigación*. <http://www.casadellibro.com/libro-metodologia-de-la-investigacion-5-ed-incluye-cd-rom/9786071502919/1960006>
- ITU-T. (2014). Focus Group on M2M service layer: APIs and protocols overview. *International Telecommunication Union*, 0. <https://www.itu.int/opb/publications.aspx?parent=T-FG&selection=6&sector>
- ITU. (2014). *Partnering for solutions: ICTs in Smart Water Management. February 2014*. [http://www.itu.int/en/ITU-T/climatechange/Documents/Publications/Partnering\\_for\\_Solutions.pdf](http://www.itu.int/en/ITU-T/climatechange/Documents/Publications/Partnering_for_Solutions.pdf)
- Johnston, R. B. (2016). Arsenic and the 2030 Agenda for sustainable development. *Arsenic Research and Global Sustainability - Proceedings of the 6th International Congress on Arsenic in the Environment, AS 2016*, 12–14. <https://doi.org/10.1201/b20466-7>
- Labs, S. (2004). *The Evolution of Wireless Sensor Networks*. 1–5. <http://www.silabs.com/Support Documents/TechnicalDocs/evolution-of-wireless-sensor-networks.pdf>
- Liau, C. H., Shen, W. W., & Su, K. P. (2006). Towards a definition of the Internet of Things (IoT). *IEEE Internet of Things*, 60(1), 121–122.
- Llad, C., Tutor, C., & Izquierdo, F. (2019). *La escasez de agua como amenaza global*.
- Machado, M. R., Ribas, T., Silva, M. R., & Martins, J. B. (2019). Smart Water Management System using the Microcontroller ZR16S08 as IoT Solution. *2019 IEEE 10th Latin American Symposium on Circuits and Systems, LASCAS 2019 - Proceedings*, 169–172. <https://doi.org/10.1109/LASCAS.2019.8667571>
- Manco Silva, D., Guerrero Erazo, J., & Ocampo Cruz, A. (2012). Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial. *Eficiencia En El Consumo de Agua de Uso Residencial*, 11(21), 23–38.
- Maria del Carmen Santana, Tovar, J. F. B., & Sotomayor, C. A. C. (2015). *Rango de Consumo - Básico*. 66. [http://www.cra.gov.co/documents/Documento\\_de\\_Trabajo\\_y\\_Participacion\\_Ciudadana\\_750.pdf](http://www.cra.gov.co/documents/Documento_de_Trabajo_y_Participacion_Ciudadana_750.pdf)
- Martí, M., Garcia-Rubio, C., & Campo, C. (2019). Performance Evaluation of CoAP and MQTT\_SN in an IoT Environment. *Proceedings*, 31(1), 49. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019031049>
- Michahelles, F. (2018). *IoT-Enhanced Human Experience*. 22, 4–7.
- Militar, U., & Granada, N. (2013). *Otras Ciudades Principales De América Latina \*Ernesto Alonso Idárraga Páez*. 2. [https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11037/Ernesto Idárraga.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11037/Ernesto%20Id%C3%A1rraga%20P%C3%A1ez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Naeem, M. M., Mahar, H., Memon, F., Siddique, M., & Chohan, A. (2016). Cluster Computing Vs Cloud Computing a Comparison and an Overview. *Science International (Lahore)*, 28(6), 5267–5271.
- Peter Mell, T. G. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. *Nist*.
- Ray, A., & Goswami, S. (2020). IoT and Cloud Computing based Smart Water Metering System. *2020 International Conference on Power Electronics and IoT Applications in Renewable Energy and Its Control, PARC 2020*, 308–313.  
<https://doi.org/10.1109/PARC49193.2020.236616>
- Salo, K. (2020). *Comparative study on Python web frameworks: Flask and Django*. May.  
<http://www.theseus.fi/handle/10024/339796>
- Saraju P. Mohanty, Uma Choppali, E. K. T. (2016). Everything You Wanted to Know About Smart Cities. *IEEE*. <https://doi.org/10.2307/20623548>
- Sensor de flujo de agua (Hall) 1/2" YF-S201. (n.d.). Retrieved October 24, 2020, from <https://naylorlampmechatronics.com/sensores-liquido/108-sensor-de-flujo-de-agua-12-yf-s201.html>
- Serna, J. (2018). *Propuesta de índice de calidad del agua, como herramienta para el desarrollo sustentable en cuerpos de aguas superficiales de la ciudad de Bogotá*.

## ANEXOS

### Anexo A.

En este anexo se encuentra el código utilizado en el nodo de transmisión y el nodo de procesamiento, este se puede encontrar en el siguiente repositorio de GitHub: <https://github.com/encs16/Aqualarm-Trabajo-de-grado>.

### Código fuente de la aplicación para el nodo de transmisión (placa esp8266):

Se utilizó la extensión PlatformIO de Visual Studio Code para subir el código a la placa NodeMCU ESP8266.

```
#INCLUDE <ESP8266.h>
//LIBRERIAS NECESARIAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <WiFiClientSecure.h>

#define caudalimetro 2 //DEFINIMOS EL PIN 2 (GP10A en el esp8266)

//Configuración de las conexiones WIFI y al broker MQTT
const char *mqtt_server = "dirección del broker MQTT";
const int mqtt_port = 8883;
const char *mqtt_user = "USUARIO";
const char *mqtt_pass = "CLAVE DEL USUARIO";
const char *root_topic_publish = "TOPICO MQTT DONDE SE PUBLICARAN LOS DATOS";
const String clientId = "NOMBRE DEL DISPOSITIVO"; //ID GLOBAL UNICAMENTE MODIFICARLO ACA
const String hogarID = "NOMBRE DEL HOGAR"; // No se pueden repetir nombres

const char *ssid = "NOMBRE DE LA RED WIFI";
const char *password = "CLAVE DE LA RED WIFI";

//VARIABLES GLOBALES
WiFiClientSecure espClient;
PubSubClient client(espClient);
char msg[25]; //ES NECESARIO UN ARRAY DE CHAR'S YA QUE EN MQTT SOLO SE PUEDEN ENVIAR ESTOS
long count=0;

//VARIABLES PARA MEDIR EL CONSUMO DE AGUA
long currentMillis = 0;
long previousMillis = 0;
int interval = 5000; //INTERVALO NECESARIO PARA CALCULAR EL CONSUMO EN MS

float calibrationfactor = 7; //ESTA EN EL DATASHEET, pero puede variar por cada caudalimetro
volatile byte pulsecount;
byte pulseSec = 0;
float flowRate;
float totalFlowRate;

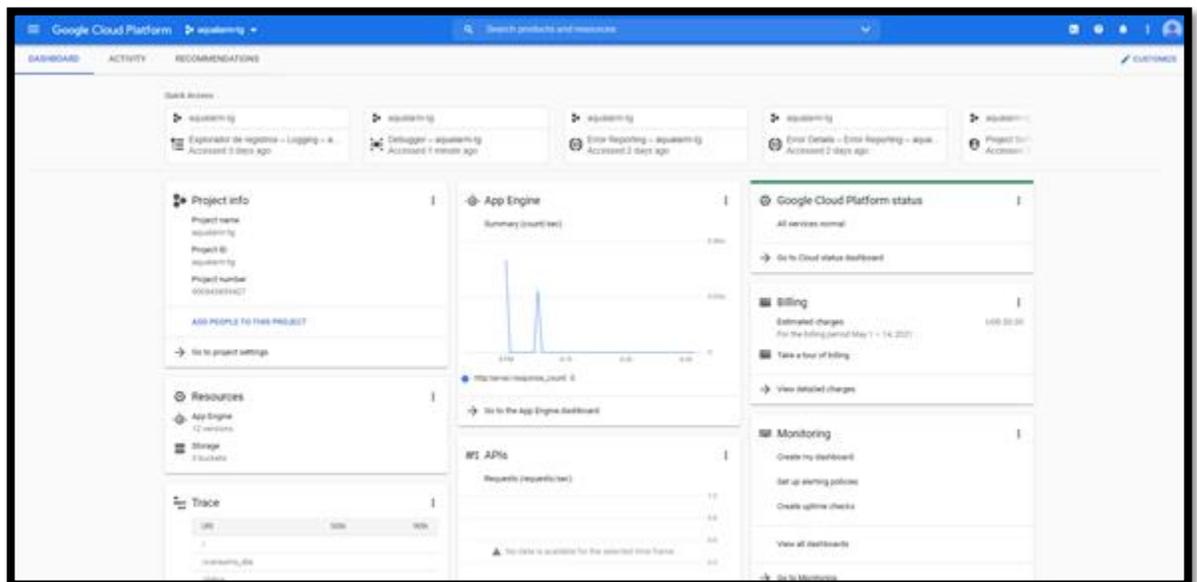
void reconnect();
void setup_wifi();
```

Fuente: Autor

## Código fuente de la aplicación para el nodo de procesamiento (AppWeb y Base de datos):



Fuente: Autor



Fuente: Autor

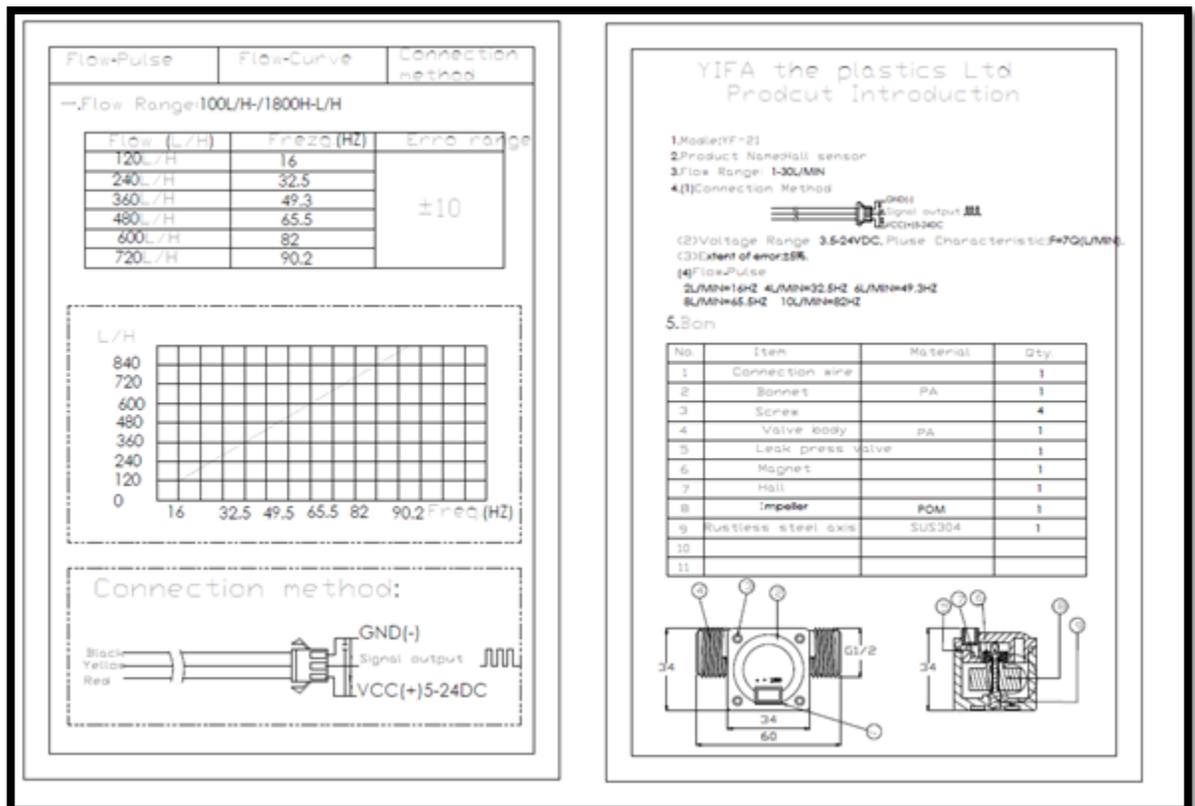
Código en AppEngine y Consola de Google Cloud Platform

## Anexo B.

La prueba de calibración de los nodos de transmisión consistió en:

- Instalar el caudalímetro y el nodo de transmisión
- Ubicar un balde para recoger el agua
- Medir el volumen de agua por medio de los datos enviados por el nodo de procesamiento
- Pesarse el balde con el agua recogida
- Verificar si los valores son diferentes y hallar la diferencia

Estos sensores poseen un error del 10%, como lo indica el datasheet lo cual será útil para comparar el valor estimado por el caudalímetro y el valor capturado por el nodo de transmisión.



Fuente: <https://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/sensors/YF-S201.pdf>

En este caso se midieron 8 muestras y estas se dividieron en 2 sesiones, además las colecciones se almacenaron (documentos JSON), estos se pueden encontrar en el repositorio de github.



Fuente: Autor

**Evidencias de la primera sesión de toma de datos:**



Fuente: Autor



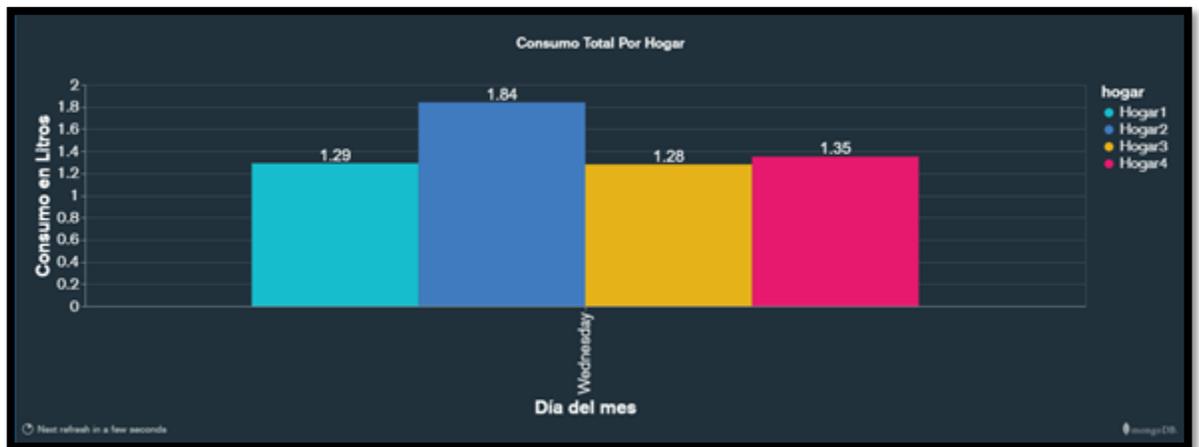
Fuente: Autor



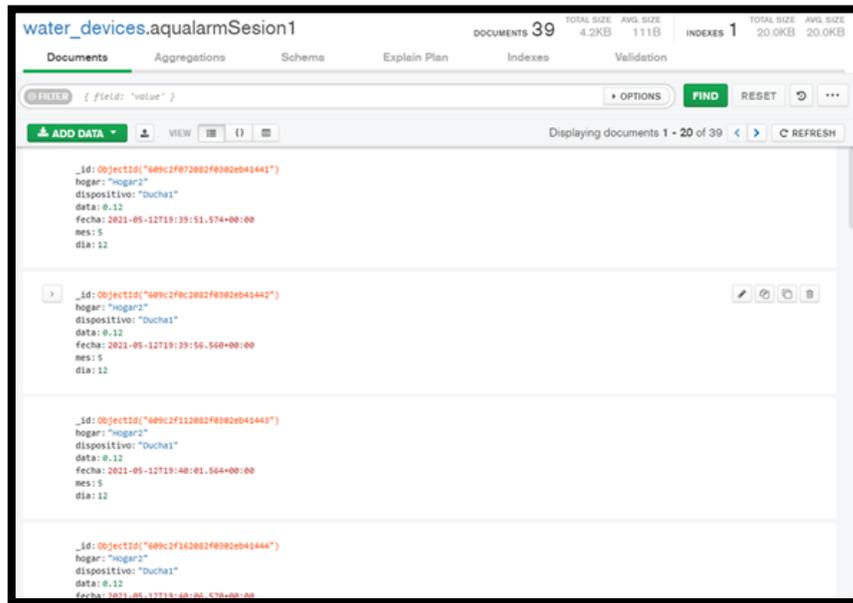
Fuente: Autor



Fuente: Autor



Fuente: Autor



Fuente: Autor

Cada muestra fue llamada Hogar x, esto fue únicamente por motivos de muestras, no tiene nada que ver cuando se midió el impacto que puede causar la red de sensores.

### Evidencia segunda sesión de toma de datos:



Fuente: Autor



Fuente: Autor



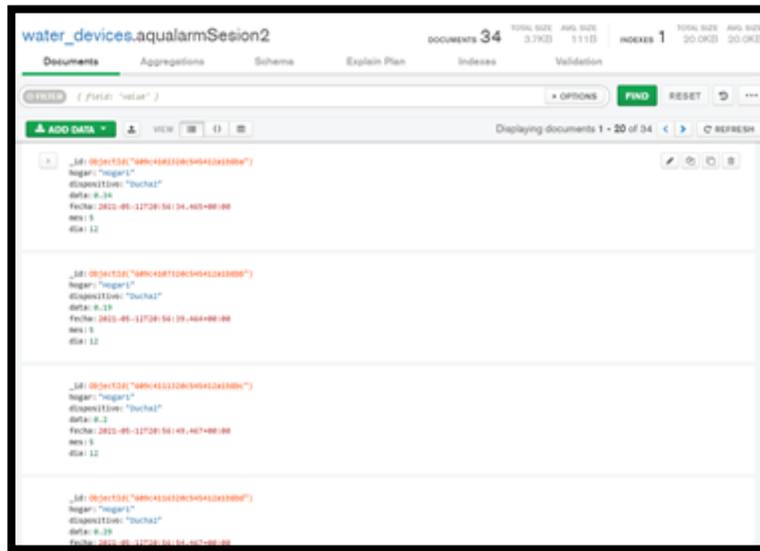
Fuente: Autor



Fuente: Autor



Fuente: Autor



Fuente: Autor

### Análisis de resultados sesión 1:

PESO DEL BALDE									
517									
Muestra	Peso con balde	peso sin balde	Consumo capturado por el nodo	Diferencia	ERROR%	Consumo capturado por el nodo con ajuste del 10%	Diferencia2	Error3	
Hogar1	1881	1364	1290	74	5%	1161	129	15%	
Hogar2	1873	1356	1840	484	36%	1656	184	22%	
Hogar3	1785	1268	1280	12	1%	1152	128	9%	
Hogar4	1747	1230	1350	120	10%	1215	135	1%	
					mediana:	8%	mediana:		12%

Fuente: Autor

Como se puede observar en la tabla se obtiene un error del 8% sin realizar el ajuste y del 12% realizando el ajuste, fue necesario hallar la mediana ya que son valores muy sesgados, esto se debe a lo imprecisos que pueden llegar a ser los caudalímetros seleccionados.

### Análisis de resultados sesión 2:

PESO DEL BALDE									
517									
Muestra	Peso con balde	peso sin balde	Consumo capturado por el nodo	Diferencia	ERROR%	Consumo capturado por el nodo con ajuste del 10%	Diferencia2	Error3	
Hogar1	1886	1369	1290	79	6%	1161	129	15%	
Hogar2	1498	981	1840	859	88%	1656	184	60%	
Hogar3	1639	1122	1280	158	14%	1152	128	3%	
Hogar4	1760	1243	1350	107	9%	1215	135	2%	
					mediana:	11%	mediana:		9%

Fuente: Autor

Como se puede observar en la tabla se obtiene un error del 11% sin realizar el ajuste y del 9% realizando el ajuste, fue necesario hallar la mediana ya que son valores muy sesgados, esto se debe a lo imprecisos que pueden llegar a ser los caudalímetros seleccionados.

## Anexo C

En este anexo se pueden encontrar las diferentes encuestas realizadas para verificar los datos utilizados en este trabajo de grado, la población evaluada fueron los dueños de los hogares y los habitantes de estos hogares.

### PRIMERA ENCUESTA

Esta encuesta es orientada únicamente a los dueños de los hogares ya que esta encuesta permitió identificar las necesidades de los dueños.

1. Cuando se instalen los sensores usted estaría dispuesto a (puede seleccionar varias opciones):

- Realizar mantenimientos preventivos semanalmente
- Permitir modificaciones donde se instalarán los sensores
- Permitir romper muros para instalar un sensor y acceder a la tubería
- Ninguna de las anteriores

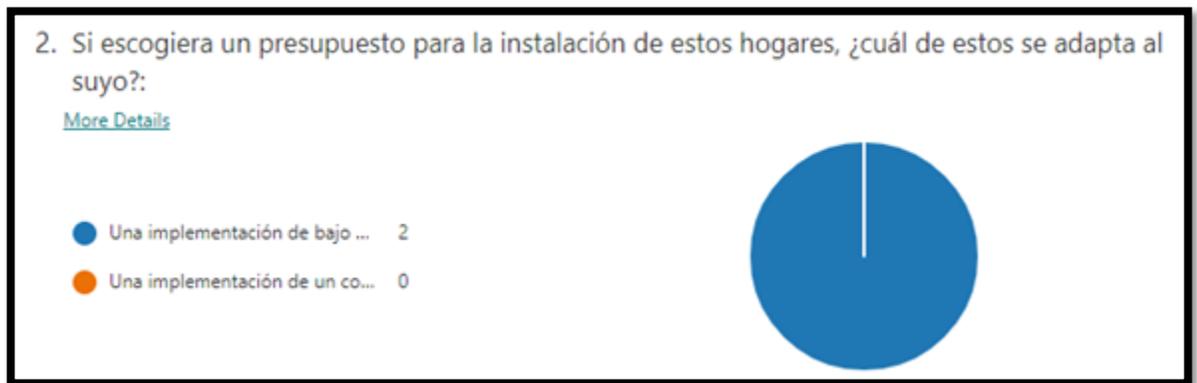
2. Si escogiera un presupuesto para la instalación de estos hogares, ¿cuál de estos se adapta al suyo?:

- Una implementación de bajo costo, la cual puede involucrar sensores de baja precisión - Aproximadamente menos de 100Mil Pesos
- Una implementación de un costo elevado, la cual puede incluir sensores de alta precisión - Aproximadamente mas de 100Mil pesos

Fuente: Autor



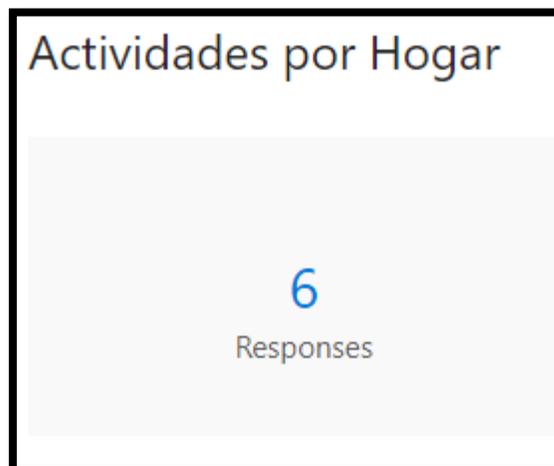
Fuente: Autor



Fuente: Autor

## SEGUNDA ENCUESTA

Esta encuesta busca identificar las actividades realizadas en este hogar e identificar los tiempos que gastan las personas de estos hogares en la ducha y en el lavamanos.

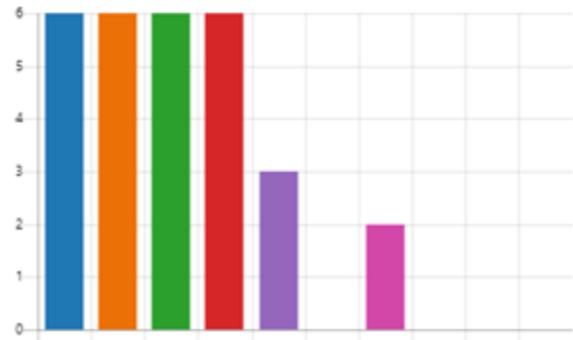


Fuente: Autor

1. ¿Cuáles de las siguientes actividades usted realiza en su hogar diariamente?

[More Details](#)

● Consumir agua	6
● Usar la ducha	6
● Usar el sanitario	6
● Usar el lavamanos	6
● Usar el lava platos o lavar platos	3
● Realizar lavado de ropa o usar...	0
● Realizar aseo de la vivienda	2
● Regar plantas	0
● Lavar su vehículo o el del hogar	0
● Regar jardines	0

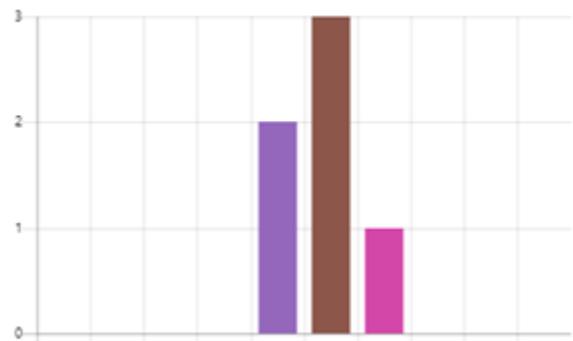


Fuente: Autor

2. ¿Cuáles de las siguientes actividades usted realiza en su hogar semanalmente?

[More Details](#)

● Consumir agua	0
● Usar la ducha	0
● Usar el sanitario	0
● Usar el lavamanos	0
● Usar el lava platos o lavar platos	2
● Realizar lavado de ropa o usar...	3
● Realizar aseo de la vivienda	1
● Regar plantas	0
● Lavar su vehículo o el del hogar	0
● Regar jardines	0

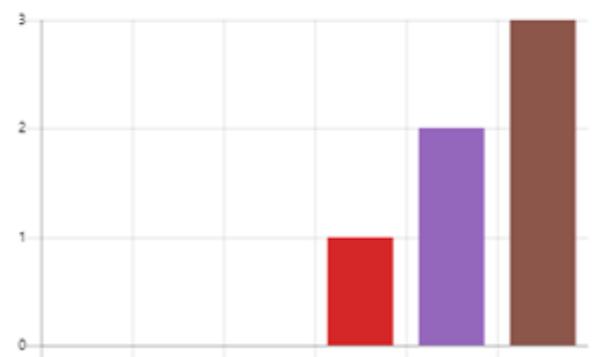


Fuente: Autor

3. ¿Cuánto tiempo dura usted en la ducha?

[More Details](#)

● 1 minuto	0
● 2 minutos	0
● 3 minutos	0
● 4 minutos	1
● 5 minutos	2
● Más de 5 minutos	3



Fuente: Autor

4. ¿Cuánto tiempo dura usted lavándose las manos?

[More Details](#)

● Menos de 1 minuto	2
● Más de 1 minuto	4



Fuente: Autor

TERCERA ENCUESTA

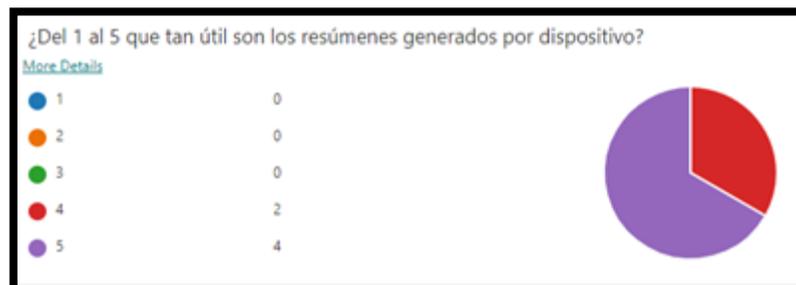


Fuente: Autor

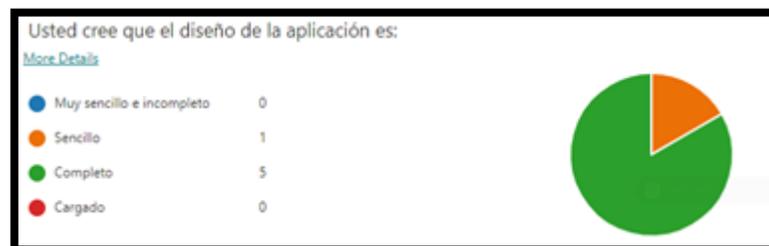




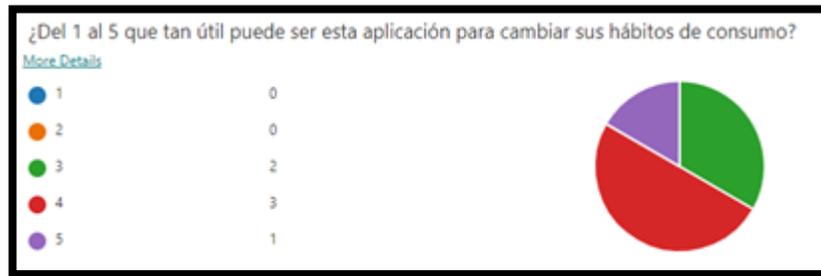
Fuente: Autor



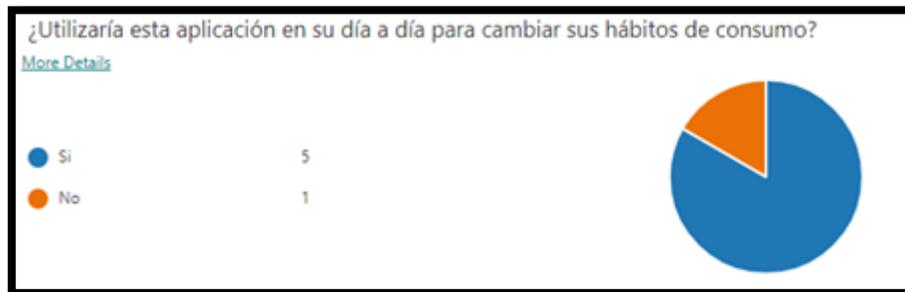
Fuente: Autor



Fuente: Autor



Fuente: Autor



Fuente: Autor

### TERCERA ENCUESTA

Esta encuesta busca identificar que tan útil fue la red de sensores para cambiar los hábitos de consumo de las personas de los hogares.



Fuente: Autor

1. Antes de Responder la encuesta por favor indique cual es su hogar

[More Details](#)

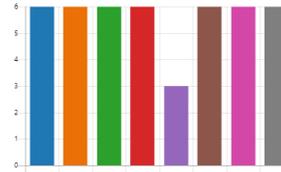
Hogar 1 (G)	3
Hogar 2 (C)	3



2. ¿Cuáles de los siguientes días utilizo la ducha del segundo piso en donde se instaló el nodo de transmisión para medir su consumo de agua?

[More Details](#)

24 de Agosto	6
25 de Agosto	6
26 de Agosto	6
27 de Agosto	6
28 de Agosto	3
29 de Agosto	6
30 de Agosto	6
31 de Agosto	6



Fuente: Autor

3. Si usted utilizo la ducha con el caudalímetro, ¿después de utilizarla se tomó el tiempo de revisar su consumo realizado?, responda sí o no

[More Details](#)

Si	4
No	2



4. Del 1 al 5 que tan útiles fueron los datos del consumo realizado brindados en la pagina web

[More Details](#)

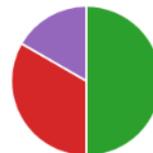
1	0
2	0
3	3
4	1
5	2



5. Del 1 al 5 que tan útiles fueron los estados de consumo brindados en la pagina web

[More Details](#)

1	0
2	0
3	3
4	2
5	1



6. Del 1 al 5 que tan confiable cree que son los datos de consumo reflejados por la aplicación web

[More Details](#)

1	0
2	0
3	1
4	5
5	0



Fuente: Autor