

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EMBEBIDO PARA
UNA RED DE MONITOREO DE CONSUMO DE AGUA
RESIDENCIAL**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

BRYAN IVÁN BURGA QUELAL

DIRECTOR: Nelson Sotomayor, MSc.

Quito, febrero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, BRYAN IVÁN BURGA QUELAL declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A handwritten signature in black ink that reads "Bryan Burga". The signature is written in a cursive, slightly slanted style.

BRYAN BURGA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por BRYAN IVÁN BURGA QUELAL, bajo mi supervisión.

A horizontal line representing a signature, positioned above the name "NELSON SOTOMAYOR, MSc.".

NELSON SOTOMAYOR, MSc.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

BRYAN IVÁN BURGA QUELAL

NELSON SOTOMAYOR, MSc.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a toda mi familia, a mis padres, hermanos y mis amigos de cuatro patas. Todos han sido un apoyo incondicional y una fuente de inspiración cuando todo se veía cuesta arriba.

AGRADECIMIENTO

Definitivamente este espacio no sería suficiente si quisiera agradecer a todas las personas que han sido un apoyo en esta etapa, pero personas que no pueden faltar son mis padres. A mi padre Iván, que a pesar de sus largas jornadas de trabajo nunca estuvo demasiado ocupado mí. A mi madre Magali, siempre preocupada por mi bienestar y pendiente de que nunca me falte nada. A mis hermanos, Zara y Mateo, siempre preocupados por mí y pendientes de lo que hago.

Quiero agradecer a todos mis amigos y compañeros que fui encontrando en esta etapa estudiantil, muchos son el vivo ejemplo de que la vida universitaria es mucho más llevadera si se tiene un buen equipo.

Agradezco también al MSc. Andrés Cela por haberme dado las bases para el desarrollo de este trabajo, y al MSc. Nelson Sotomayor por su guía y colaboración para la culminación del mismo.

Necesito hacer una mención especial a mi amiga y compañera que me acompañó en toda mi etapa estudiantil, gracias Mishell, simplemente no tengo palabras para expresar mi gratitud por todo lo que has hecho por mí.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Medidores comerciales.....	3
1.4.1.1 Medidor Electromagnético EF-D.....	3
1.4.1.2 Medidor ultrasónico de pinza Dynasonics TFX-500w	4
1.4.2 Sensor de caudal YF-S201.....	6
1.4.3 Tarjeta de desarrollo ESP32 DEVKIT	7
1.4.3.1 Chip ESP32.....	8
1.4.4 Interfaz de usuario.....	10
2 METODOLOGÍA.....	11
2.1 Desarrollo del hardware	11
2.1.1 Alimentación	11
2.1.2 Tarjeta de desarrollo ESP32	12
2.1.3 Sensor de caudal YF-S201	13
2.1.4 Identificador de dispositivo (switches).....	13
2.1.5 Dispositivo móvil.....	14
2.1.6 Implementación	15
2.1.7 Instalación del equipo	16
2.2 Desarrollo del software	17
2.2.1 Protocolo para el intercambio de datos.....	19
2.2.1.1 Envío de datos desde la tarjeta de desarrollo	20

2.2.1.2 Envío de datos desde la aplicación móvil	21
2.2.2 Rutinas de lectura de sensor de caudal	21
2.2.3 Rutina de cálculo de consumo	23
2.2.4 Rutina de lectura de identificador de dispositivo	24
2.2.5 Rutinas de recepción de datos de la tarjeta de desarrollo.....	24
2.2.6 Rutina de recepción de número de personas	24
2.2.7 Rutina de recepción de la red	26
2.2.8 Rutina de recepción de la hora y fecha.....	27
2.2.9 Rutina para la emisión de alarmas.....	27
2.2.10 Rutina para silenciar la alarma.....	29
2.2.11 Programas de la aplicación móvil	30
2.2.11.1 Pantalla de inicio	30
2.2.11.2 Pantalla de selección.....	30
2.2.11.3 Pantalla de configuración de dispositivo	32
2.2.11.4 Pantalla de Dispositivo dos.....	35
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
3.1 Resultados	40
3.1.1 Detección del dispositivo conectado	40
3.1.2 Medición de caudal.....	41
3.1.3 Comunicación entre la tarjeta de desarrollo y la aplicación móvil.....	42
3.1.4 Configuración del dispositivo	42
3.1.3.1 Número de personas	42
3.1.3.2 Datos para igualar el reloj.....	43
3.1.5 Conexión a la red.....	44
3.1.6 Gráficas en la aplicación.....	44
3.1.7 Validación de medidas.....	45
3.1.7 Alarmas	46
3.1.8 Sistema conectado a la red	50
3.1.9 Prueba global del sistema.....	51
3.2 Conclusiones	54
3.3 Recomendaciones	55
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
ANEXO I.....	61
MANUAL DE USUARIO.....	61

I.1 INTRODUCCIÓN.....	61
I.1.1 Objetivo	61
I.2 CARACTERÍSTICAS	61
I.2.1 Hardware.....	61
I.2.2 Software	64
I.3 RECOMENDACIONES DE USO	68
ANEXO II.....	69
COSTO DE IMPLEMENTACIÓN	69
ANEXO III.....	71
HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE CAUDAL YF-S201	71

RESUMEN

Ante el crecimiento actual de la población mundial es inevitable también el crecimiento de la demanda de recursos naturales, entre estos recursos se encuentra el agua. Por esta razón es necesario el cuidado de este recurso por lo que se ha decidido realizar el diseño e implementación de un sistema embebido para una red de monitoreo de consumo de agua residencial que ayudará a observar si el consumo está dentro de rangos aceptables, caso contrario, tomar decisiones que ayuden al ahorro y preservación del agua.

Para este objetivo, se necesitan conocer dispositivos de medición de agua comerciales que se encuentren en el mercado, realizar un estudio y obtener características de estos medidores para que sean replicadas en este proyecto. El sistema de medición cuenta principalmente de dos partes, la primera parte es el sistema embebido en donde se encuentra una tarjeta de desarrollo capaz de recibir información de un sensor de caudal para posteriormente enviarla de manera inalámbrica. En la segunda parte, esta información se muestra en un dispositivo móvil gracias a una aplicación desarrollada para sistema operativo Android, aquí se observan datos semanales en modo de gráficas. El sistema microprocesado cuenta con alarmas sonoras que se activan cuando el consumo haya rebasado los niveles recomendados dependiendo del lugar en dónde haya sido instalado. Para completar la red de monitoreo, se podrán enlazar hasta cinco sistemas embebidos, cada uno de estos sistemas podrá ser instalado en diferentes lugares y se comunicará con la aplicación móvil mediante la red WiFi del hogar.

PALABRAS CLAVE: sistema embebido, monitoreo, sensor de flujo, inalámbrico, consumo de agua.

ABSTRACT

Given the current growth of the world population, the growth of the demand for natural resources is also inevitable, among these resources is water. For this reason, it is necessary to take care of this resource, so it has been decided to design and implement an embedded system for a residential water consumption monitoring network that would help to observe if the consumption is within acceptable ranges, otherwise, make decisions that help save and preserve water.

For this objective, it is necessary to know commercial water measurement devices that are on the market, carry out a study and obtain characteristics of meters to be replicated in this project. The measurement system has mainly two parts, the first part is the embedded system where there is a development card capable of receiving information from a flow sensor to send it later wirelessly. In the second part, this information is displayed on a mobile device thanks to an application developed for the Android operating system, here weekly data is observed in graphics mode. The microprocessed system has audible alarms that are activated when consumption has exceeded the recommended levels according to the place where it has been installed. To complete the monitoring network, up to five embedded systems can be linked, each of these systems can be installed in different places and will communicate with the mobile application through the home WiFi network.

KEYWORDS: embedded system, monitoring, flow sensor, wireless, water consumption.

1 INTRODUCCIÓN

Se estima que para el año 2050, aproximadamente mil millones de personas vivirán en ciudades que no podrán abastecer de manera satisfactoria el consumo de agua de sus habitantes, esto debido al aumento de población, y, por ende, el aumento de demanda [1]. A pesar de que el 70% de la superficie del planeta está cubierta de agua, apenas el 3% de ésta es dulce, y únicamente el 0.5% es asequible para consumo [2].

Si bien, los datos anteriores se enfocan en consecuencias futuras, la problemática de la escasez de agua ya se siente en la actualidad, lamentablemente en el continente africano, existen países en donde alrededor del 80% de su población no tiene acceso a agua limpia, por ejemplo, Eritrea, este país, por su ubicación geográfica, está expuesto a grandes sequías que incluso llegan a durar varios años. Los años 2018 y 2019 fueron críticos, la escasez de agua en este período complicó mucho la situación del país, en donde la falta de cosecha generó inseguridad alimentaria y desnutrición en gran parte de su población [3]. Puede parecer que el problema de la escasez de agua es un tema en países subdesarrollados, si se toma como ejemplo a un país de primer mundo, Australia es la segunda zona más seca del planeta, únicamente detrás de la Antártica. Además, las grandes sequías provocan también grandes incendios, provocando un desvío del agua destinada a consumo humano [4].

El problema de la escasez de agua parece estar a miles de kilómetros de distancia del Ecuador, pero nada más alejado de la realidad, existe una situación crítica en la niñez indígena de nuestro país en donde 8 de cada 10 niños no tiene acceso al líquido vital [5].

Como se puede notar, el cuidado del líquido vital es un problema crítico que no es tratado con la importancia adecuada. En promedio, cada ciudadano gasta entre 200 y 220 litros de agua en sus actividades diarias, aproximadamente el doble de lo que recomienda la Organización Mundial de la Salud [2]. En el cuarto de baño se encuentra el 70% del consumo de agua en un hogar, en el cuarto de lavado alrededor del 15%, estos porcentajes se traduce en aproximadamente 150 litros y 30 litros de agua por día, respectivamente [6]. En este sentido se comprende que es crucial identificar la cantidad de agua que se utiliza en el hogar. Por esta razón se desea implementar un sistema electrónico embebido capaz de medir el consumo de agua a través de sensores de caudal, mostrar a un usuario a través de una aplicación dicho consumo en el hogar y emitir alarmas cuando el consumo sea mayor que el recomendado por la OMS.

1.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema embebido para una red de monitoreo de consumo de agua residencial.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar una síntesis de al menos dos dispositivos comerciales que realicen el monitoreo del consumo de agua, de los elementos electrónicos necesarios para el sistema embebido y de programas para desarrollar aplicaciones móviles.
2. Diseñar e implementar el sistema electrónico de medición, lectura y transmisión de los datos de consumo de agua.
3. Desarrollar la aplicación en SO Android de monitoreo que incluya la curva de consumo semanal de agua.
4. Realizar las pruebas de funcionamiento del dispositivo, tanto de medición como de monitoreo.

1.3 Alcance

Se realizará una revisión bibliográfica sobre al menos dos sistemas de medición y monitoreo comerciales. Enfocándose en el tipo de comunicación, sensores, microcontrolador y almacenamiento de información para definir las características del sistema de monitoreo.

Se diseñará un sistema embebido utilizando un microcontrolador de 32 bits capaz de conectarse a una red WiFi para transmitir la información y medir el consumo de agua a través de un sensor de caudal. Se incluirá el sistema de alimentación necesario para dicho funcionamiento, teniendo en cuenta que los niveles de voltaje para el microcontrolador y para el sensor no son los mismos.

Se desarrollará una aplicación para SO Android, que permita monitorear el consumo de agua de hasta cinco lugares dentro de una residencia. La aplicación mostrará la cantidad de agua de consumo recomendado dependiendo del lugar de instalación del sistema embebido, la cantidad de agua que se consume y emitirá una alarma cuando se llegue al 90% y 100% del consumo recomendado. Los sistemas embebidos se colocarán en la

ducha y en la lavandería, que son de acuerdo con la OMS, los lugares de mayor consumo de agua.

Se mostrará la curva de consumo semanal en la aplicación.

Se integrará el sistema microprocesado y la aplicación móvil y se desarrollará una inicialización para enlazar hasta cinco sistemas embebidos a la aplicación, aunque en este proyecto se construirán dos sistemas embebidos ubicados como se menciona anteriormente. Además, se diseñará una estructura física en donde se integrarán todos los componentes.

Se realizará pruebas de funcionamiento del sistema. Se verificará que la medición de consumo esté dentro de un rango tolerable de error. Se verificará la transmisión de información a la aplicación móvil. Se verificará el funcionamiento de alarmas.

1.4 Marco teórico

En esta sección se realizará una revisión de medidores de agua comerciales, se estudiará el sensor, la tarjeta de desarrollo y la herramienta para la creación de la aplicación móvil.

1.4.1 Medidores comerciales

El estudio de los medidores comerciales se realiza con la finalidad de conocer más a fondo cómo se compone el sistema de medición y de esta manera tener una guía de cómo se implementará el sistema propuesto. A continuación, se observan dos medidores comerciales populares en el mercado.

1.4.1.1 Medidor Electromagnético EF-D

El medido electromagnético EF-D funciona gracias a su sensor integrado que funciona, como su nombre lo indica, bajo el principio electromagnético, es decir, entre dos electrodos se produce una diferencia de potencial que depende de velocidad del líquido gracias al campo electromagnético que este produce [7], es necesario mencionar que este sensor no funciona con soluciones no acuosas, ya que éstas no producen el campo necesario para la medición [8]. Cabe mencionar que el sensor debe ser conectado con su respectivo convertidor, su función es recibir la lectura del sensor y transmitirla para que el usuario pueda observarla en el display o en algún medio externo gracias a su salida Modbus, pulsos o analógica. En la Figura 1.1 se puede observar dicho sistema.



Figura 1.1 Medidor de flujo electromagnético [9]

Las características técnicas del sensor y del convertidor se pueden apreciar en la Tabla 1.1 y en la Tabla 2.2, respectivamente.

Tabla 1.1 Especificaciones técnicas del convertidor [9].

Especificación	Descripción
Alimentación	100 a 240 VAC, 24 VDC
Precisión	±0.5 %
Protección	IP68
Temperatura de trabajo	-40 a 70 °C
Comunicación	Modbus, Pulsos, 4 a 20 mA, Zegbee (Soporte opcional)

Tabla 1.2 Especificaciones técnicas del sensor [9].

Especificación	Descripción
Material de electrodos	Stainless steel 316L, Hastelloy alloy
Presión de operación	150 psi
Temperatura de trabajo	-20 a 120 °C
Protección	IP68
Temperatura de trabajo	-40 a 70 °C
Conexión	Bridas ANSI B16.5 Clase 150

1.4.1.2 Medidor ultrasónico de pinza Dynasonics TFX-500w

Este medidor de flujo ultrasónico de pinza, permite realizar una medición sin cortar la tubería y puede ser instalado en tuberías inferiores a 10 pulgadas [10]. Su principio de funcionamiento se basa en señales sonoras que viajan en la tubería entre dos puntos, una señal viaja en el sentido del flujo del líquido y la otra señal en sentido contrario. Si el tiempo

de vuelo de estas dos señales es el mismo, quiere decir que no existe un flujo dentro de la tubería, por el contrario, a la señal que viaja a favor del movimiento le tomará menos tiempo en llegar a su destino, con esta divergencia de tiempos se puede calcular el flujo del líquido, y por ende, el consumo [11]. En la Figura 1.2 se observa dicho medidor.



Figura 1.2 Medidor de flujo ultrasónico [10]

Este medidor puede medir flujo en ambos sentidos, los datos pueden ser enviados a un sistema SCADA, PLC o BAS (sistema de automatización de edificios) utilizando varias salidas analógicas, digitales y en serie. Las especificaciones técnicas se pueden observar en la Tabla 1.3 [10].

Tabla 1.3 Especificaciones técnicas del medidor [10]

Especificación	Descripción
Rango de flujo	0.1 a 9800 GPM
Precisión	±1 %
Protección	IP67
Comunicación	BACnet MS/TP, Modbus RTU, BEACON/AquaCUE Conectividad

Los dispositivos revisados anteriormente no cuentan con información puntual acerca del microprocesador con el que trabajan, pero haciendo un breve análisis de sus características técnicas, se puede concluir que su microprocesador tiene la capacidad de realizar mediciones por medio de entradas digitales y analógicas. Para el procesamiento de información se presenta el protocolo Modbus, en el medidor electromagnético EF-D se presenta la novedad que se puede realizar una comunicación inalámbrica por radiofrecuencia (Zigbee). En el tema del tratamiento de información, ésta puede ser

observada directamente en el display del dispositivo, también se puede transmitir a un computador por medio de un software.

Teniendo en cuenta estas características, en el sistema propuesto se utilizará un microprocesador que pueda realizar una transmisión de manera inalámbrica y para la visualización de información se utilizará una aplicación móvil.

1.4.2 Sensor de caudal YF-S201

El sensor de caudal YF-S201 posee en su interior paletas rotativas que son movidas gracias al flujo del líquido que circula, en el extremo de dichas paletas se encuentra unido un imán, este imán activa el sensor de efecto Hall produciendo una señal cuadrada de ancho de pulso variable, dentro de un sistema microprocesado se medirá la frecuencia de dicha señal que permitirá calcular el valor del caudal circulante y, mediante una integración en el tiempo, se podrá calcular el consumo.

El sensor de caudal se observa en la Figura 1.3, en donde se puede apreciar los hilos que lo componen, el hilo rojo irá conectado a la alimentación, el hilo negro a tierra y el hilo amarillo corresponde a la salida de los pulsos.



Figura 1.3 Caudalímetro YF-S201 [12].

Para más detalle, en la Tabla 1.4 se observan las especificaciones técnicas del dispositivo.

Tabla 1.4 Especificaciones técnicas del sensor de caudal YF-S201 [13]

Especificación	Descripción
Principio de funcionamiento	Efecto Hall
Voltaje de entrada	5 a 18 V
Consumo máximo de corriente	15 mA a 5 V
Salida	5 V TTL
Rango de flujo	1 a 30 L/min
Temperatura de trabajo	-25 a 80 °C

1.4.3.1 Chip ESP32

Para conocer más a fondo la tarjeta de desarrollo, se necesita estudiar el chip base de este sistema, el mismo que se presenta en la Figura 1.6. ESP32 es un chip fabricado por Espressif System, su principal característica es la conexión WiFi y Bluetooth. Se encuentran integrados por un microprocesador Tensilica Xtensa LX6 que puede operar hasta una frecuencia de 240 MHz [15].



Figura 1.6 Módulo ESP32 [16]

Una característica atractiva de estos dispositivos, aparte de su conectividad, es su modo de bajo consumo gracias a su coprocesador, además de una interfaz periférica que engloba a SPI, I²C, PWM, I2S, sensor capacitivo, entre los principales.

Para más detalle, en la Tabla 1.5 se observan las especificaciones técnicas del dispositivo.

Tabla 1.5 Especificaciones técnicas del chip [15].

Especificación	Descripción
Voltaje de entrada	3.3 V
Microprocesador	Tensilica Xtensa 32 bits
WiFi	HT40
Bluetooth	4.2/BLE
Frecuencia (típico)	160 MHz
SRAM	448 KB
Flash	520 KB
Temperatura de trabajo	-40 a 125 °C

El chip de la Figura 1.5 posee 34 pines digitales a un nivel de voltaje de 3.3 V, cuando ya se encuentra encapsulado en la tarjeta de desarrollo, varios pines trabajan con 5 V. Dichos pines se pueden configurar en el modo pull up y pull down, ideales para trabajar con pulsadores.

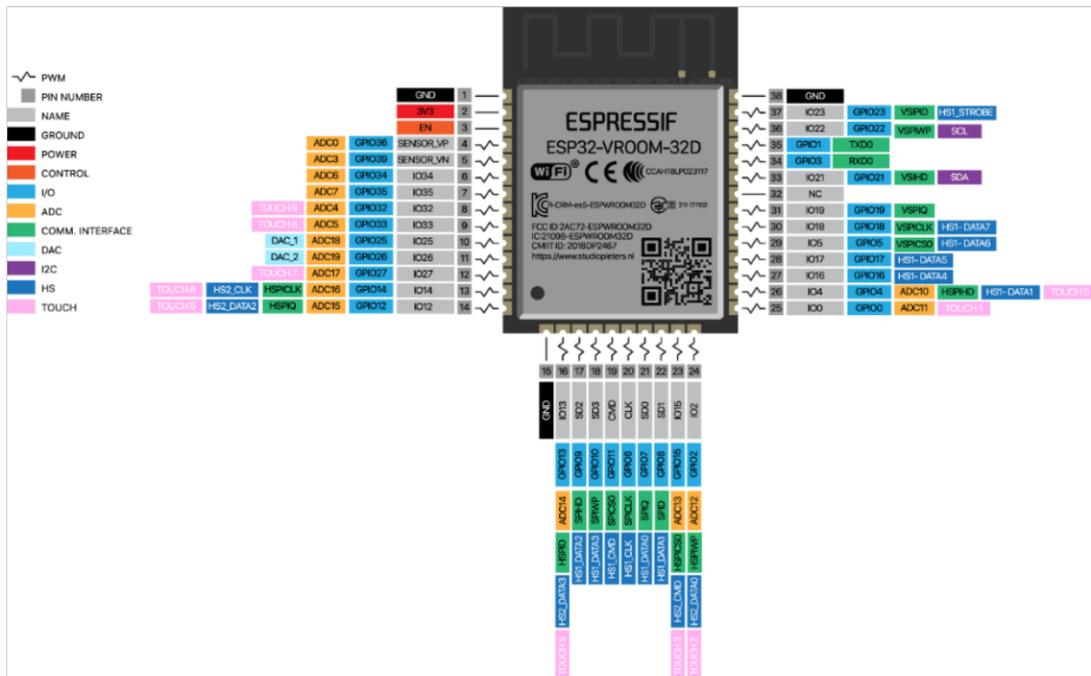


Figura 1.5 Distribución de pines del módulo ESP32 [14].

En el tema de la conversión analógica-digital, se incorpora un canal ADC con 18 entradas con una resolución de 12 bits. Una característica importante es que se puede realizar una medición mientras se encuentra en el modo suspensión, lo que conlleva a un bajo consumo de energía. El chip también posee dos conversores digital-analógico, lo que permite eliminar el uso de las señales PWM que comúnmente se usan en este propósito.

Los sensores capacitivos incluidos pueden funcionar de manera táctil, con un total de hasta 10, eliminando el uso de botones o switches.

El bus I2C permiten una configuración maestro – esclavo en los dispositivos, además también cuenta con tres canales para una comunicación serial que trabaja con los protocolos RS-485 y RS-232, y tres buses destinados para una comunicación SPI.

Existen 16 pines que pueden proporcionar directamente una salida PWM [15].

En resumen, se tiene:

- 34 GPIO digitales
- 18 GPIO para conversión analógico-digital
- 2 canales para conversión digital-analógico

- 10 GPIO capacitivos
- 2 canales I2C
- 3 canales seriales
- 3 canales SPI
- 16 GPIO con salida PWM

1.4.4 Interfaz de usuario

Para la interfaz de usuario se utiliza una aplicación móvil que mostrará las curvas de consumo, dicha aplicación se desarrolló en la herramienta App Inventor.

La herramienta App Inventor fue desarrollada por el Instituto Tecnológico de Massachusetts, es utilizada como solución para el desarrollo de aplicaciones móviles en el sistema operativo Android. Su interfaz es intuitiva, ya que para la programación de aplicaciones se utiliza una interfaz de diseñador, en donde se da forma al marco visual de la aplicación, y un editor de bloques, en donde se programa la lógica que realizará la aplicación [17].

La aplicación móvil cuenta con una pantalla de navegación que permite dirigirse a la pantalla correspondiente a cada dispositivo, aquí se puede hacer la conexión en el modo Acces Point con cada dispositivo y posteriormente enviar la red WiFi para hacer la comunicación con toda la red (Aplicación móvil con los cinco dispositivos), una vez realizada la conexión se tendrá acceso a las gráficas de consumo semanal.

Los detalles de la implementación de esta aplicación se presentan en el siguiente capítulo.

2 METODOLOGÍA

Para la elaboración de este documento se ha utilizado la técnica de consulta para la recopilación de información y la técnica de experimentación para el desarrollo del sistema.

El desarrollo de este trabajo se compone de cuatro fases metodológicas. La primera fase se presenta en el capítulo 1 que corresponde a una revisión bibliográfica de dispositivos que ya se encuentren en el mercado y que sean similares al implementado, con el fin de obtener información relevante que se pueda replicar en el dispositivo construido. En la segunda fase mostrada en el capítulo metodología, se detalla el procedimiento para la implementación del hardware y el software, así como los algoritmos para su desarrollo. En la tercera fase se presenta el dispositivo implementado, así como sus pruebas de funcionamiento para verificar los resultados satisfactorios del mismo. Finalmente, en la cuarta fase se muestran los resultados obtenidos con las respectivas conclusiones y recomendaciones finales de este trabajo.

2.1 Desarrollo del hardware

A continuación, se detallará el contenido físico del sistema de medición de agua. En la Figura 2.1 se aprecia la arquitectura del hardware, especificando las entradas y salidas del sistema con sus respectivos elementos conectados.

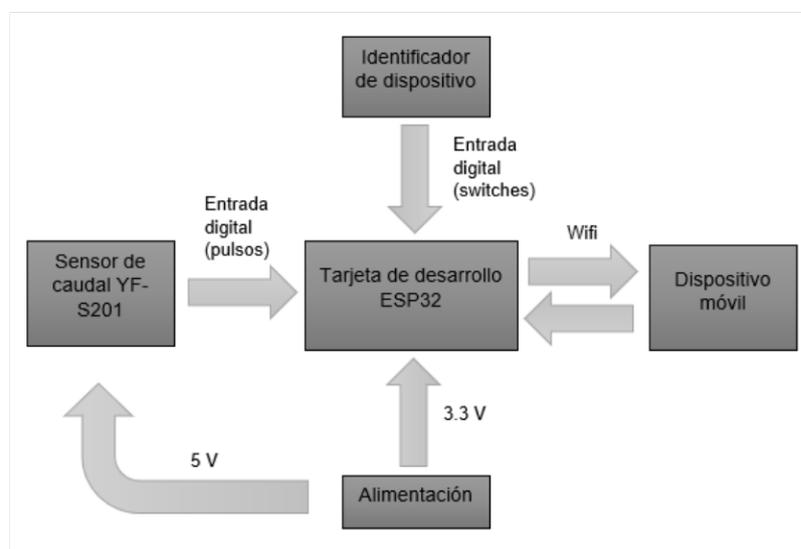


Figura 2.1 Arquitectura del hardware

2.1.1 Alimentación

Para la alimentación, se utiliza la fuente MB102, que se observa en la Figura 2.2, en la cual se puede apreciar en los recuadros verdes las salidas que alimentarán el sistema, estas

salidas son configurables para entregar 3.3 V o 5 V gracias a los jumpers encerrados en el recuadro azul, entonces, se puede tener dos salidas de 5 V, dos salidas de 3.3 V o salidas combinadas.

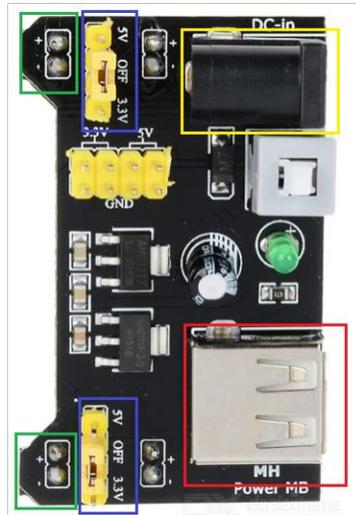


Figura 2.2 Fuente de alimentación MB102

Esta fuente puede ser alimentada de manera externa mediante su entrada USB con 5 V o mediante una fuente que proporcione entre 6.5 y 13 V. La entrada USB se puede observar en el recuadro rojo y la entrada para el conector de fuente se observa en el recuadro amarillo.

En la Tabla 2.1 se observan las características relevantes de la fuente MB102.

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de la fuente MB102 [18]

Especificación	Descripción
Voltaje de entrada	6.5 – 13 V conector de fuente o 5 V USB
Voltaje de salida	3.3 y 5 V
Corriente de salida máx	700 mA
Dimensiones	5.3 x 3.5 cm

2.1.2 Tarjeta de desarrollo ESP32

La tarjeta de desarrollo se puede considerar la base del sistema, ya que recibirá la información del sensor, la información del identificador de dispositivo y la transmitirá de manera inalámbrica hacia la interfaz de usuario. La conexión a desarrollarse se observa en la Figura 2.3.

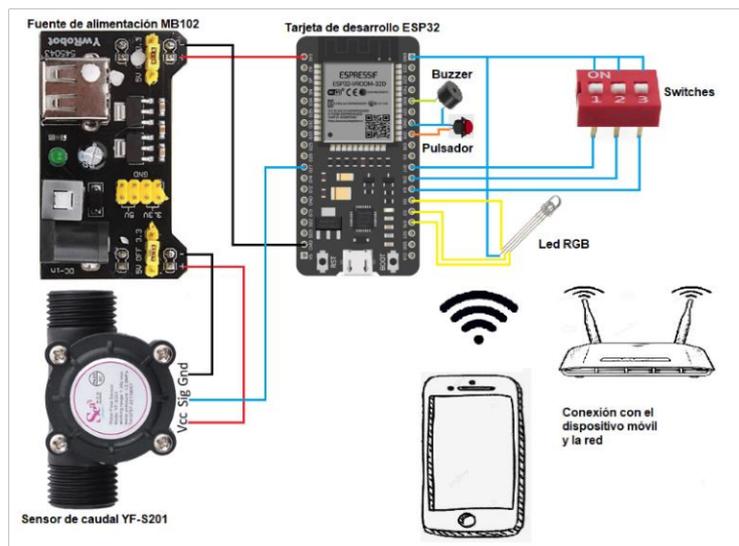


Figura 2.3 Elementos del sistema

2.1.3 Sensor de caudal YF-S201

El sensor de caudal es alimentado con 5V por medio de la fuente de MB102, la señal se envía al pin 27 de la tarjeta de desarrollo, como se observa en la Figura 2.3. Este pin fue escogido ya que el sensor envía un tren de pulsos con un voltaje pico de 5 V y el pin 27 es una entrada digital del mismo voltaje.

2.1.4 Identificador de dispositivo (switches)

Los switches sirven para identificar el dispositivo conectado, es decir, para diferenciar un dispositivo de otro y conocer en dónde está instalado. La tarjeta de desarrollo lee el código binario, este código depende de la posición de los switches ON u OFF. En la Tabla 2.2 se detalla el número de dispositivo y su ubicación.

Tabla 2.2 Detalle de switches y ubicación

Switch 1	Switch 2	Switch 3	Dispositivo	Ubicación
0	0	0	-	No detectado
0	0	1	1	Lavaplatos
0	1	0	2	Lavandería 1
0	1	1	3	Lavandería 2
1	0	0	4	Lavabo de baño 1
1	0	1	5	Ducha 1
1	1	0	6	Lavabo de baño 2
1	1	1	7	Ducha 2

La propuesta de este trabajo es enlazar hasta cinco dispositivos, pero como se aprecia en la Tabla 2.2 se deja la opción para ampliar este número. El hardware es diseñado de esta manera porque el software ya tiene los niveles máximos de consumo de agua para la emisión de alarmas.

2.1.5 Dispositivo móvil

El dispositivo móvil es el nexo entre el sistema embebido y el usuario final en donde se observará la información del consumo gracias a la conexión Wifi que permite la tarjeta de desarrollo.

La aplicación móvil está desarrollada para funcionar en el sistema operativo Android, si bien Google ha discontinuado sus servicios en celulares con sistema operativo inferior al sistema 2.3.7 (Gingerbread) [19], la aplicación se podría utilizar sin mayores problemas porque no utiliza ningún servicio prestado por Google, pero al conectarse a la red es recomendable tener los servicios de Google activos por temas de seguridad.

En el tema de almacenamiento, la aplicación funcionando ocupa en espacio aproximado de 100 Mb y teniendo en cuenta que desde hace varios años la capacidad mínima de memoria con que se fabrican los celulares es de 8 Gb, no existe inconveniente. Muy similar el tema de la memoria RAM, la aplicación se corrió en un celular con memoria RAM de 1 Gb y no existió inconveniente.

No está demás mencionar que el dispositivo móvil necesita una conexión WiFi 802.11 b/g/n que logre conectarse a la red.

En resumen, se puede concluir que los requisitos mínimos son los siguientes:

- Sistema operativo superior a Android 2.3.7 Gingerbread (mínimo) o superior a 7.1.1 Nougat (recomendado).
- Memoria interna de 4 Gb
- Memoria RAM de 1 Gb
- Conexión WiFi 802.11 b/g/n

2.1.6 Implementación

En la Figura 2.4 se observa la placa electrónica para el funcionamiento del sistema, nótese que existen unos elementos que no están soldados en la placa, este diseño fue realizado de dicha manera para que los elementos puedan salir en la estructura física.

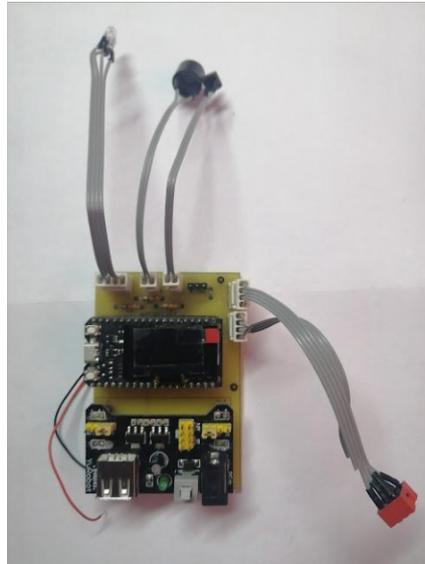


Figura 2.4 Placa electrónica del sistema

En la Figura 2.5 se observa la estructura física del sistema, se necesita que los switches, el buzzer, el pulsador y el led salgan de la estructura, por lo que es necesario una protección extra para evitar el contacto con el agua.



Figura 2.5 Estructura física implementada

2.1.7 Instalación del equipo

El equipo fue instalado en la lavandería, que corresponde al dispositivo tres, en la Figura 2.6 se observa el equipo montado entre la tubería y la llave de agua.



Figura 2.6 Sensor de caudal instalado en lavandería

La instalación completa se observa en la Figura 2.7.



Figura 2.7 Sistema instalado en lavandería

Al ser una red de monitoreo se necesitan al menos dos equipos para comprobar el funcionamiento, el segundo dispositivo se instaló en la ducha, correspondiente al dispositivo cinco, la instalación se observa en la Figura 2.8.



Figura 2.8 Sistema instalado en la ducha

2.2 Desarrollo del software

A continuación, se detallará el software del sistema de medición de agua. En la Figura 2.9 se aprecia la arquitectura de dicho software.

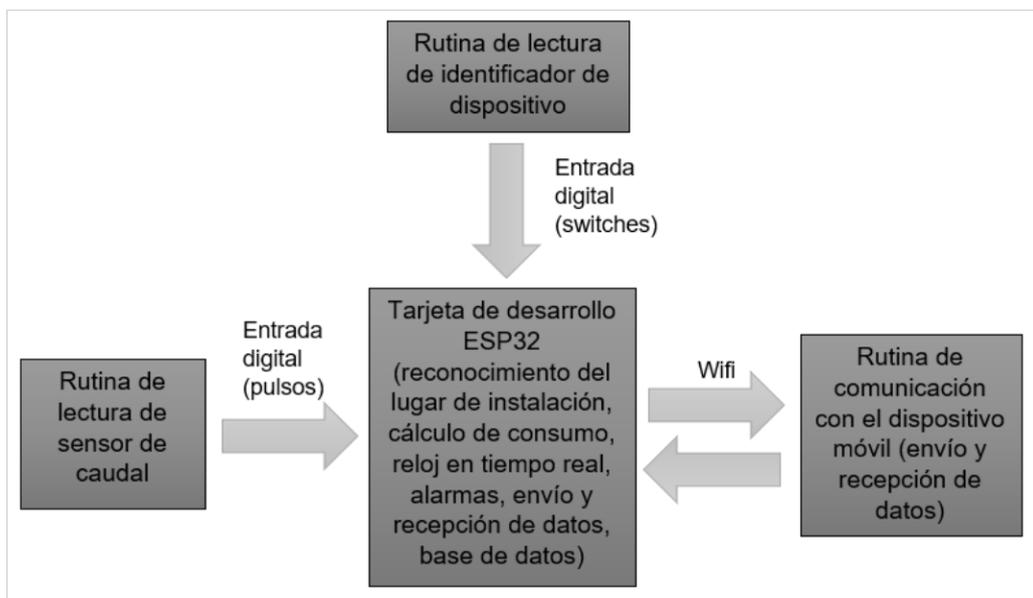


Figura 2.9 Arquitectura del software

En la tarjeta de desarrollo se presentará el programa principal junto con las rutinas. Para el programa principal se realiza la declaración de librerías, entre ellas constan la librería para la conexión WiFi, para el servidor web y para el reloj en tiempo real. A continuación, se declaran las variables para la lectura de los switches, para la conexión WiFi en modo Acces Point, para la conexión WiFi a la red, para la lectura del caudal, para la lectura de la hora y fecha y para la detección de respuesta del servidor web. Para continuar, se inicializa el dispositivo mediante la lectura de los switches para conocer el lugar de instalación, se realiza la conexión en el modo Acces Point, se establecen los límites de consumo dependiendo del número de personas y cuándo se emitirá una alarma, se inicializa el puerto serie, el reloj en tiempo real, los pines como entrada o salida y las interrupciones para la lectura de los pulsos que envía el sensor de caudal y cuando se desborda el timer, esto se revisará a detalle más adelante. Dentro del lazo que se repite en el programa principal, éste se encuentra a la espera de que se conecte un cliente, una vez conectado el cliente se debe hacer un análisis si un dato se envía, este dato se envía caracter por caracter y finaliza con una línea en blanco, posteriormente se analiza si el dato que está recibiendo corresponde al número de personas que harán uso del sistema, una hora, una fecha, un nombre de red, una contraseña, una orden o una solicitud, ya que, dependiendo del dato correspondiente se ejecutará la rutina respectiva, esto se revisará a detalle más adelante. Fuera de este lazo se activa la rutina para el cálculo de la frecuencia de la onda cuadrada emitida por el sensor de caudal cada vez que se desborda el timer, una interrupción externa detecta los flancos de subida que se producen cuando el sensor de caudal ha enviado un pulso, para continuar se acumula este caudal en un intervalo de tiempo de un segundo para conocer el consumo. Estos datos están a la espera de que la aplicación móvil haga una solicitud para obtener los datos.

Una vez realizada la explicación del programa principal, en la Figura 2.10 se muestra dicho diagrama de flujo.

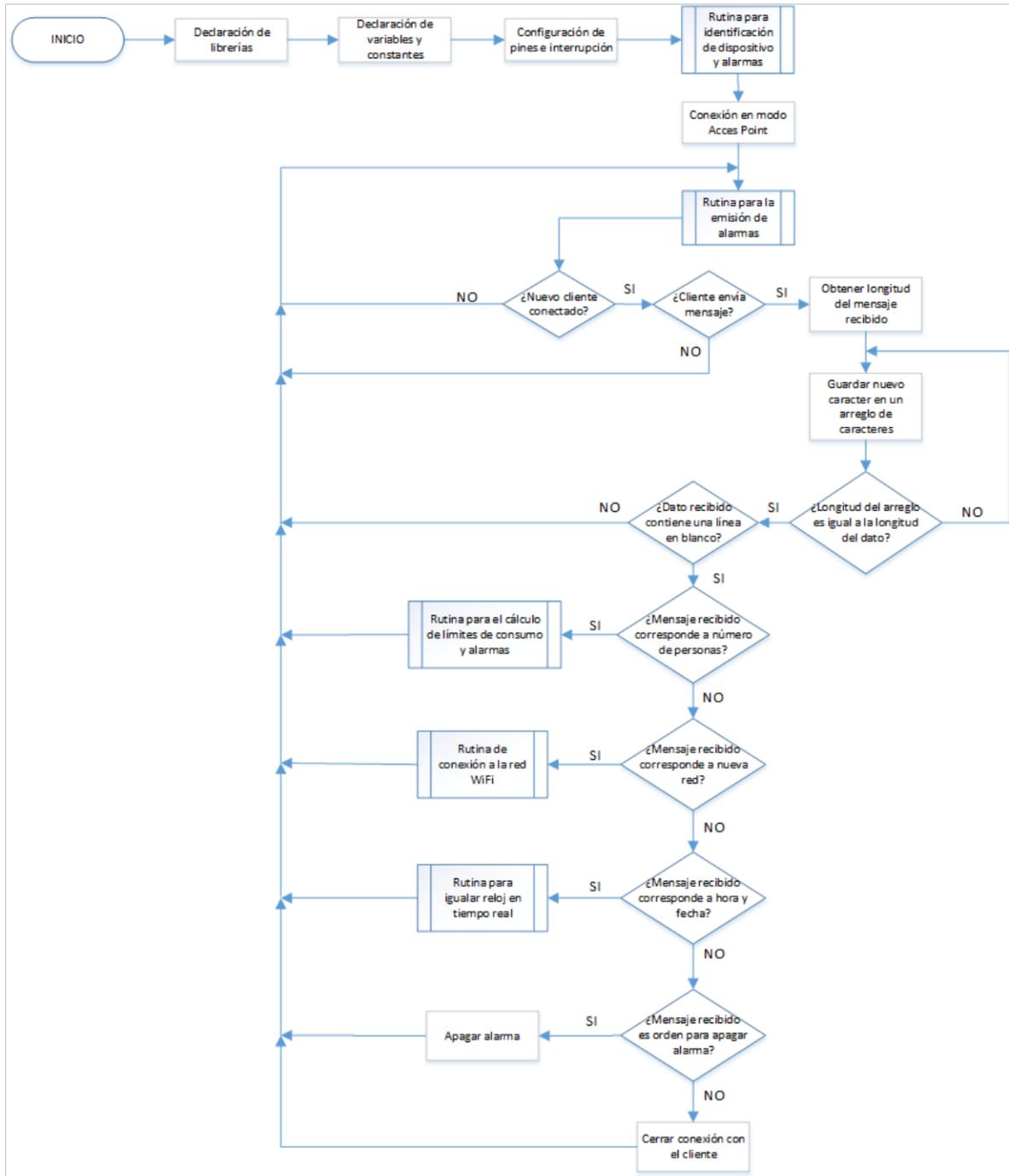


Figura 2.10 Diagrama de flujo del programa principal

2.2.1 Protocolo para el intercambio de datos

En esta sección se presenta la forma en la que se intercambian los datos entre la aplicación móvil y la tarjeta de desarrollo, esta forma varía si los datos van desde la aplicación móvil hacia la tarjeta de desarrollo, o viceversa.

2.2.1.1 Envío de datos desde la tarjeta de desarrollo

Al tener una red de monitoreo, es importante e indispensable para la aplicación móvil reconocer desde qué dispositivo se están enviando los datos. La manera en la que la tarjeta de desarrollo envía los datos tiene un protocolo que consta de un texto identificador, el identificador del dispositivo, un separador y el dato, en la Figura 2.11 se analiza este protocolo de manera detallada.

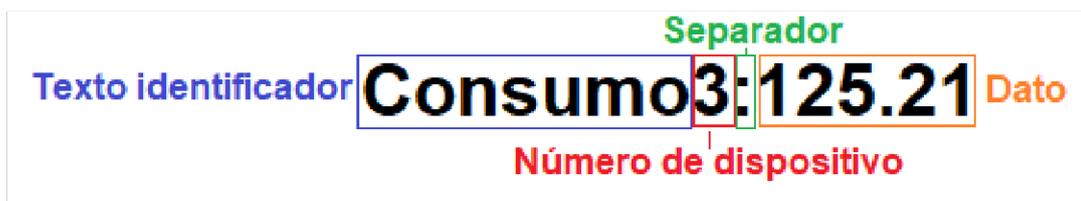


Figura 2.11 Protocolo para el envío de datos hacia la aplicación móvil

En este caso se realiza el envío del consumo del dispositivo tres. Entonces, el texto identificador da a conocer que el dato enviado corresponde a un dato de consumo, el número de dispositivo indica que es el consumo del dispositivo tres, el separador indica que a partir de ahí se leerá el dato, y finalmente, el dato corresponde al consumo. En resumen, la tarjeta de desarrollo ha enviado el dato de consumo del dispositivo tres correspondiente a 125.21 Lts.

Se debe mencionar que el consumo no es el único dato que se envía a la aplicación, cuando ya se ha realizado la conexión a la red es necesario conocer la dirección IP del dispositivo para realizar la comunicación mediante el servidor web, en la Figura 2.12 se muestra cómo se hace la lectura de la dirección IP.

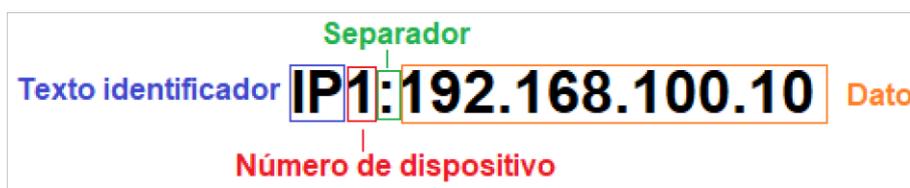


Figura 2.12 Protocolo para el envío de datos hacia la aplicación móvil

Con el texto identificador se conoce que el dato recibido es una dirección IP, con el número de dispositivo se conoce que es la dirección IP del dispositivo uno, con el separador se conoce que a partir de ahí se obtendrá el dato de interés que en este caso es una dirección, y finalmente, el dato. En resumen, la tarjeta de desarrollo ha enviado el dato de dirección IP del dispositivo uno que es 192.168.100.10

Es importante mencionar que todo este protocolo debe ser extraído de un texto más extenso, ya que, al enviar cualquier dato hacia la aplicación móvil, éste debe ser enviado con una cabecera, la misma que se observa en la Figura 2.13.

```
client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-Type: text/html");
client.println("Connection: close");
```

Figura 2.13 Texto cabecera para el envío de datos hacia la aplicación móvil

2.2.1.2 Envío de datos desde la aplicación móvil

De manera similar se realiza el proceso cuando el flujo de datos es desde la aplicación móvil hacia la tarjeta de desarrollo, pero en este caso no se necesita el número de dispositivo, ya que el envío de datos se lo realiza en el modo Acces Point, es decir, la tarjeta de desarrollo y la aplicación móvil están conectados directamente. En la Figura 2.14 se observa un ejemplo de esta transmisión.



Figura 2.14 Protocolo para el envío de datos desde la aplicación móvil

En este caso se presenta el envío de la contraseña de la red WiFi, como lo muestra el texto identificador, el separador indica que a partir de ahí se encuentra el dato de interés y finalmente la contraseña que es el dato.

2.2.2 Rutinas de lectura de sensor de caudal

El sensor de caudal envía una serie de pulsos mediante una interrupción a la tarjeta de desarrollo, al tener un tren de pulsos se podrá calcular la frecuencia de dicho tren y mediante la Ecuación 2.1 se podrá obtener el caudal del fluido [20].

$$Q = \frac{f}{k} \quad (2.1)$$

Donde:

Q es el caudal del líquido en L/min,

f es la frecuencia en Hercios de la señal cuadrada medida por la tarjeta de desarrollo

k es el factor del sensor de caudal que generalmente tiene un valor de 7.5, ya que este sensor proporciona 450 pulsos por cada litro de líquido que fluye a través de él [21].

Cabe mencionarse que el factor k debe ser calibrado para tener una medición más exacta y para obtener el dato del consumo es necesario acumular el caudal en un intervalo de tiempo.

La tarjeta de desarrollo utiliza un tipo de dato de punto flotante para acumular el consumo, este tipo de dato es de 32 bits y puede llegar hasta el valor de 3.4028235E+38 [22]. Este dato es muy grande para que llegue a desbordarse con los consumos de un hogar.

En la Figura 2.15 se detalla la rutina para calcular la frecuencia del tren de pulsos mediante un diagrama de flujo, para posteriormente calcular el consumo. Hay que recalcar que esta rutina se ejecuta cada vez que se desborda el timer.

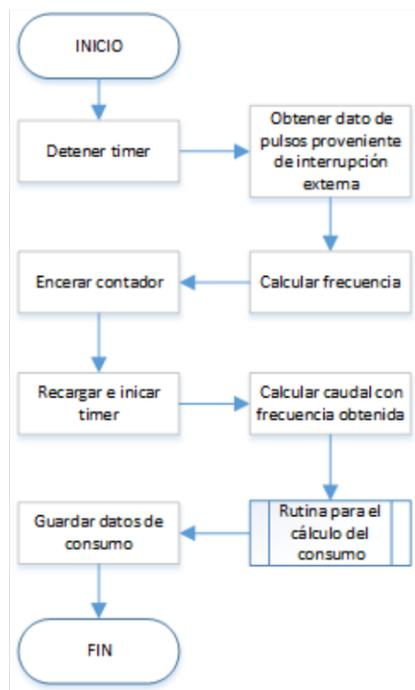


Figura 2.15 Diagrama de flujo para cálculo de caudal y consumo

Como se observa, se necesita previamente el número de pulsos que se han contado en la interrupción, el diagrama de flujo de esta interrupción es sólo un contador y se lo muestra en la Figura 2.16.

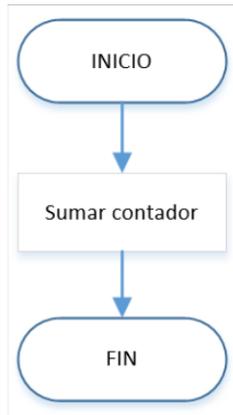


Figura 2.16 Diagrama de flujo asociado a la interrupción generada por el sensor de caudal

2.2.3 Rutina de cálculo de consumo

Una vez obtenido el caudal se necesita calcular el consumo con la ecuación 2.2.

$$V = Q \cdot \Delta t \quad (2.1)$$

Se observa que se necesita un intervalo de tiempo para el cálculo del consumo o volumen, este tiempo ya está definido y es la duración del timer. Como paso siguiente sólo se debe acumular este consumo con el consumo anterior. El diagrama de flujo de este proceso se observa en la Figura 2.17.

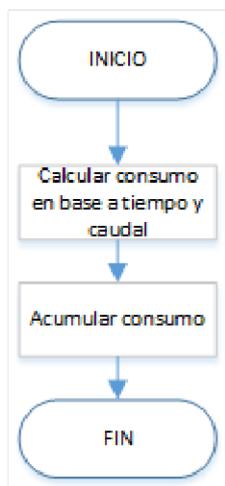


Figura 2.17 Diagrama de flujo para cálculo del consumo

2.2.4 Rutina de lectura de identificador de dispositivo

Esta rutina se ejecuta una única vez al inicio del programa, con esto se tiene la información del número de dispositivo. A continuación, se observa en la Figura 2.18 el diagrama de flujo de este proceso.



Figura 2.18 Diagrama de flujo para la rutina de identificador de dispositivo

2.2.5 Rutinas de recepción de datos de la tarjeta de desarrollo

Desde la aplicación móvil se enviarán ocho datos a la tarjeta de desarrollo separados en tres paquetes, el primer paquete corresponde al número de personas que darán uso al dispositivo, el segundo paquete es la red WiFi del hogar que incluye el nombre de la red y la contraseña y el tercer paquete corresponde a la hora (hora y minutos) y fecha (día, mes y año).

2.2.6 Rutina de recepción de número de personas

En la Figura 2.19 se observa el diagrama de flujo de la recepción de datos del número de personas, cabe mencionarse que en la Figura 2.14 se explicó el proceso para identificar el dato que se está recibiendo, para este caso el texto identificador es Num_Personas.

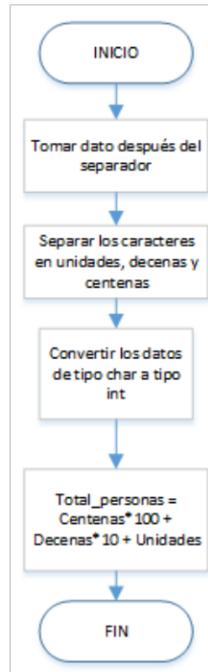


Figura 2.19 Diagrama de flujo para la rutina de identificación del número de personas

Como se explicó anteriormente, el separador es el carácter dos puntos (:), entonces a partir de ahí se tomará el dato que es el número de personas. Una vez obtenido el dato se debe recordar que este dato es uno de tipo carácter, por lo que es necesario transformarlo a uno de tipo entero, al realizar esta transformación el nuevo dato tipo entero cambia su valor, ya que toma el valor ascii del dato tipo carácter y para que conserve su valor original se debe restar el valor de 48. En la Figura 2.20 se observa la tabla de caracteres del código ascii.

Caracteres ASCII imprimibles			
32	espacio	64	@
33	!	65	A
34	"	66	B
35	#	67	C
36	\$	68	D
37	%	69	E
38	&	70	F
39	'	71	G
40	(72	H
41)	73	I
42	*	74	J
43	+	75	K
44	,	76	L
45	-	77	M
46	.	78	N
47	/	79	O
48	0	80	P
49	1	81	Q
50	2	82	R
51	3	83	S
52	4	84	T
53	5	85	U
54	6	86	V
55	7	87	W
56	8	88	X
57	9	89	Y
58	:	90	Z
59	;	91	[
60	<	92	\
61	=	93]
62	>	94	^
63	?	95	_
		96	`
		97	a
		98	b
		99	c
		100	d
		101	e
		102	f
		103	g
		104	h
		105	i
		106	j
		107	k
		108	l
		109	m
		110	n
		111	o
		112	p
		113	q
		114	r
		115	s
		116	t
		117	u
		118	v
		119	w
		120	x
		121	y
		122	z
		123	{
		124	
		125	}
		126	~

Figura 2.20 Caracteres Ascii imprimibles [23]

Por ejemplo, el número uno siendo un dato de tipo carácter, cuando sea transformado a tipo entero tomará el valor de 49, porque ese es valor en el código ascii, entonces para obtener su valor original es necesario restarle 48. Una vez obtenidos los datos enteros, estos están separados por centenas, decenas y unidades, por lo que es necesario sumarlos cuando cada uno se multiplica por cien, diez y uno, respectivamente. Esto se realiza ya que el tamaño del dato siempre será de tres caracteres, esto fue configurado en la aplicación móvil, si el usuario envía un dato de menor número de caracteres, serán completados con ceros a la izquierda.

2.2.7 Rutina de recepción de la red

Cuando se envían los datos del nombre de la red y la contraseña, el panorama cambia un poco, ya que no se sabe con exactitud la longitud del dato. A continuación, en la Figura 2.21 se analiza el diagrama de flujo cuando el dato enviado desde la aplicación móvil es el nombre de la red y la contraseña de la red.

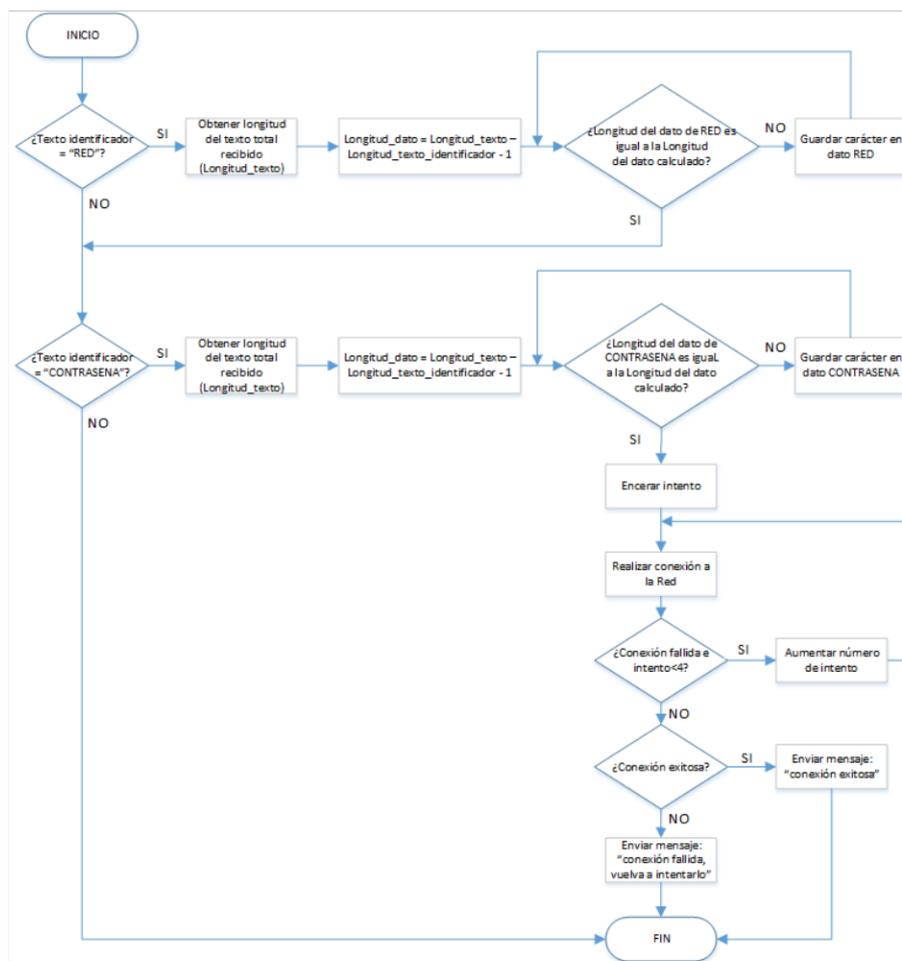


Figura 2.21 Diagrama de flujo para la rutina de conexión a la red

Para este caso, no se sabe la longitud del dato, por lo cual, el nuevo arreglo debe guardarse hasta el último carácter recibido, como en casos anteriores, para el caso del nombre de red, el texto identificador es RED, por lo que se necesita leer el dato desde el carácter número cinco, de manera similar cuando el texto identificador es CONTRASEÑA se lee desde el carácter número doce.

Una vez guardados los datos de nombre de red y contraseña, se procede a realizar la conexión, si por alguna circunstancia no se puede realizar la conexión, se intentará tres veces, caso contrario se emitirá el mensaje de error para volver a enviar los datos e intentarlo de nuevo.

2.2.8 Rutina de recepción de la hora y fecha

Si bien los datos de fecha (día, mes y año) y hora (hora y minutos) son datos independientes, estos se enviarán en un solo paquete. En la Figura 2.22 se observa el diagrama de flujo de la recepción de dichos datos.

Puede notarse que, al enviarse todos los datos en un solo paquete, el reloj se iguala cuando el último dato ha sido enviado, es decir, el dato del minuto.

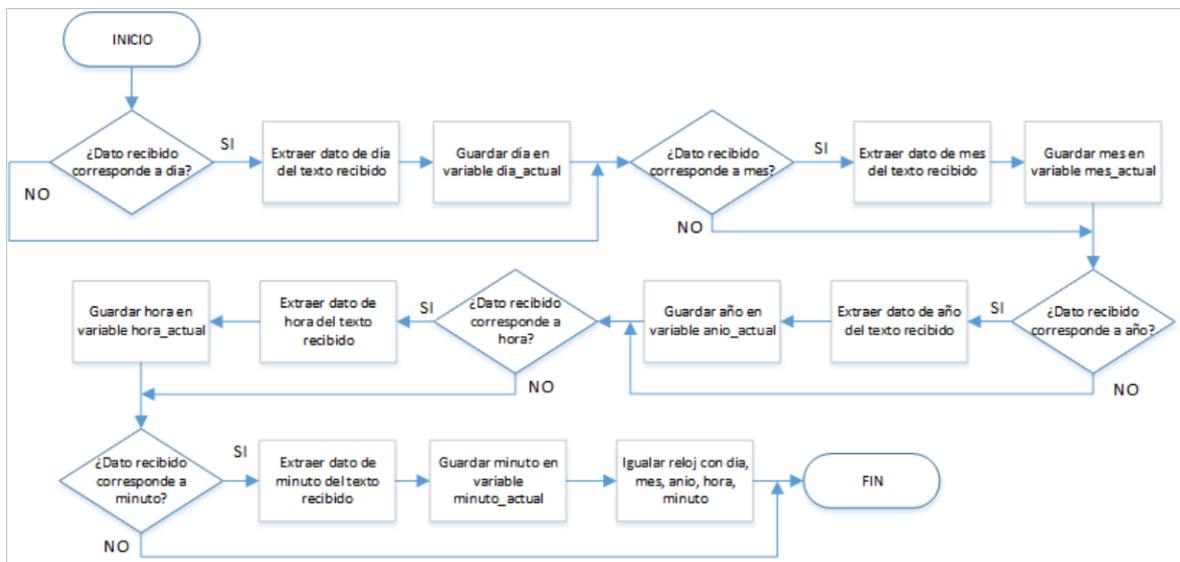


Figura 2.22 Diagrama de flujo para igualar reloj

2.2.9 Rutina para la emisión de alarmas

Una vez obtenidos los datos de consumo, el número de personas y la ubicación del dispositivo, se procede al cálculo de consumos máximo y a la rutina de alarmas, aparte de la alarma sonora se tendrá un indicador visible, se encenderá de color verde cuando el consumo esté dentro de rangos normales, de color azul cuando ha rebasado el 80% y rojo

cuando ha llegado a su consumo máximo. En la Figura 2.23 se observa el diagrama de flujo de este proceso.

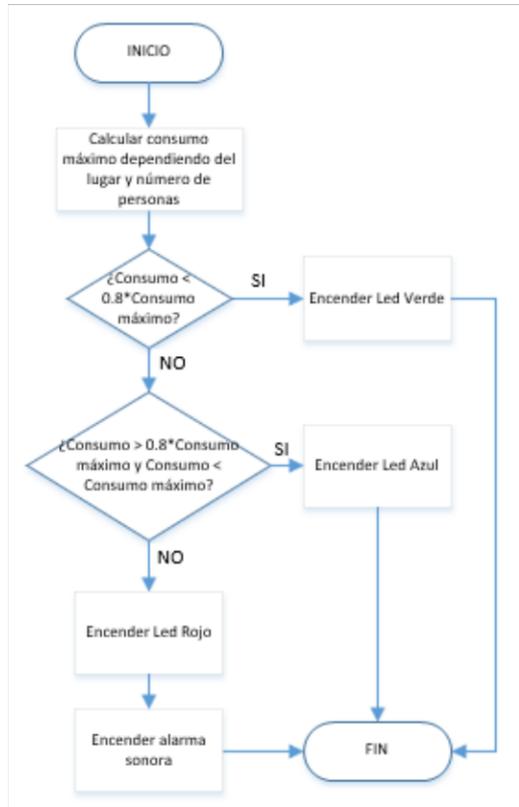


Figura 2.23 Diagrama de flujo para la emisión de alarmas

Para realizar el cálculo de valores máximos de consumo se recurre a valores emitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que recomienda que se debe consumir un máximo de 100 Litros de agua por día [2]. La misma OMS divide el gasto en el hogar como se observa en la Figura 2.24.

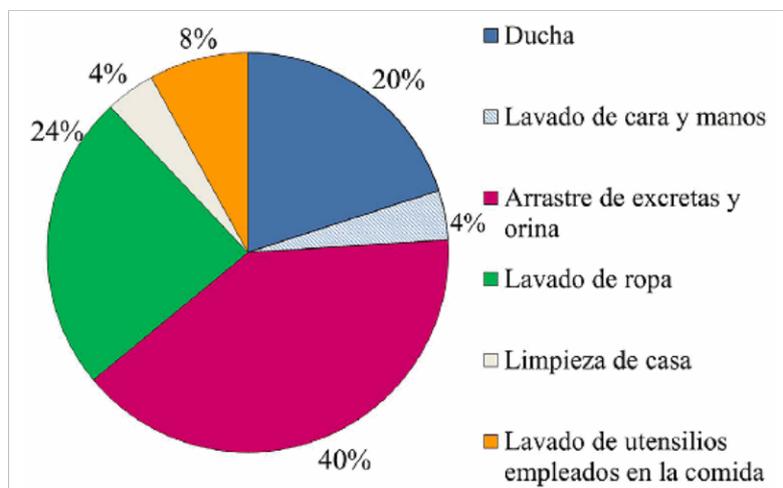


Figura 2.24 Consumo de agua en actividades domésticas según la OMS [24].

Se observa que estos valores están representados en porcentajes, entonces para el cálculo de los consumos máximos se multiplicará este porcentaje por 100 que es el consumo máximo diario y se multiplicará por siete para obtener el consumo máximo semanal. En resumen, se tiene que los consumos máximos para cada lugar de manera semanal son:

- Lavaplatos: 28 litros
- Lavandería 1: 168 litros
- Lavandería 2: 168 litros
- Lavabo 1: 28 litros
- Ducha 1: 140 litros
- Lavabo 2: 28 litros
- Ducha 2: 140 litros

Se debe recordar que estos consumos son por persona, estos se deben multiplicar por el número de personas que realizarán el consumo en la ubicación específica.

2.2.10 Rutina para silenciar la alarma

Cuando la alarma sonora se ha activado cuando se ha llegado al máximo del consumo, esta necesita ser desactivada, esto se realiza con un pulsador asociado a una interrupción externa. El diagrama de flujo de este proceso se observa en la Figura 2.25.

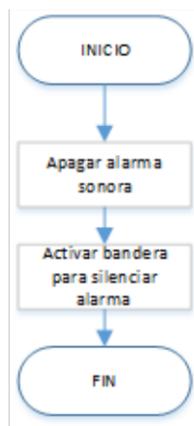


Figura 2.25 Diagrama de flujo para apagar alarma sonora

Nótese que se activa una bandera para silenciar la alarma, este es un indicador que informa que el usuario ya tiene conocimiento que se ha llegado al máximo consumo y no permite que la alarma se vuelva a encender cuando el programa se vuelva a ejecutar, para este

caso ya se tiene un indicador visual (led rojo) que comunica al usuario de dicho acontecimiento.

2.2.11 Programas de la aplicación móvil

Para este análisis, se presentan las pantallas que se tienen dentro de la aplicación móvil.

2.2.11.1 Pantalla de inicio

Esta pantalla se observa en la Figura 2.26, únicamente es una pantalla de bienvenida para el usuario.



Figura 2.26 Pantalla inicial

Cuando se pulsa el botón, se dirige a la próxima pantalla en donde se puede escoger el número de dispositivo. La programación de esta pantalla se observa en la Figura 2.27.



Figura 2.27 Programación del botón

2.2.11.2 Pantalla de selección

Esta pantalla se observa en la Figura 2.28. Como se observa, esta pantalla contiene dos botones, el primer botón despliega una lista con los dispositivos disponibles y una última

opción para configurar el dispositivo actual. El segundo botón es sólo un comando para cerrar la aplicación.



Figura 2.28 Pantalla de selección de dispositivo

La programación del primer botón se observa en la Figura 2.29.



Figura 2.29 Programación del botón Seleccionar Dispositivo

La programación del botón Salir es sencilla, ya que sólo ejecuta una acción, su programación se observa en la Figura 2.30.



Figura 2.30 Programación del botón Salir

2.2.11.3 Pantalla de configuración de dispositivo

Una vez seleccionada la opción de configurar dispositivo se dirige a la pantalla que se observa en la Figura 2.31.



Figura 2.31 Pantalla para configurar el dispositivo actual

En esta pantalla se necesita realizar un llamado a componentes no visibles, estos se observan en la Figura 2.32.



Figura 2.32 Componentes no visibles de la pantalla configuración de dispositivo

El primer componente no visible sirve para realizar la conexión web, es decir, para realizar el intercambio de datos por medio del servidor web.

El segundo componente no visible sirve para enviar la notificación de que el número de personas no es un dato válido.

Dentro de esta pantalla primero se debe configurar la dirección IP del dispositivo y declarar las variables que se utilizarán, este proceso se observa en la Figura 2.33.



Figura 2.33 Declaración de variables y constantes

Para enviar el número de personas, se ingresan los caracteres y se presiona en el botón enviar, si los caracteres ingresados no son un número, la aplicación mostrará un mensaje de error y el dato no será enviado. Esta programación se observa en la Figura 2.34.



Figura 2.34 Programación para el envío del número de personas

El proceso para enviar el día cambia un poco, en este caso el usuario no ingresará un texto, sino se desplegará una lista para escoger dicho día, la programación se muestra en la Figura 2.35.



Figura 2.35 Programación para el envío del día

Para hacer más amigable la aplicación, los meses no se presentan con un número, sino con su nombre como tal, entonces la aplicación debe traducir este dato a un número para facilidad cuando la tarjeta de desarrollo reciba el dato. Parte de esta programación se observa en la Figura 2.36.

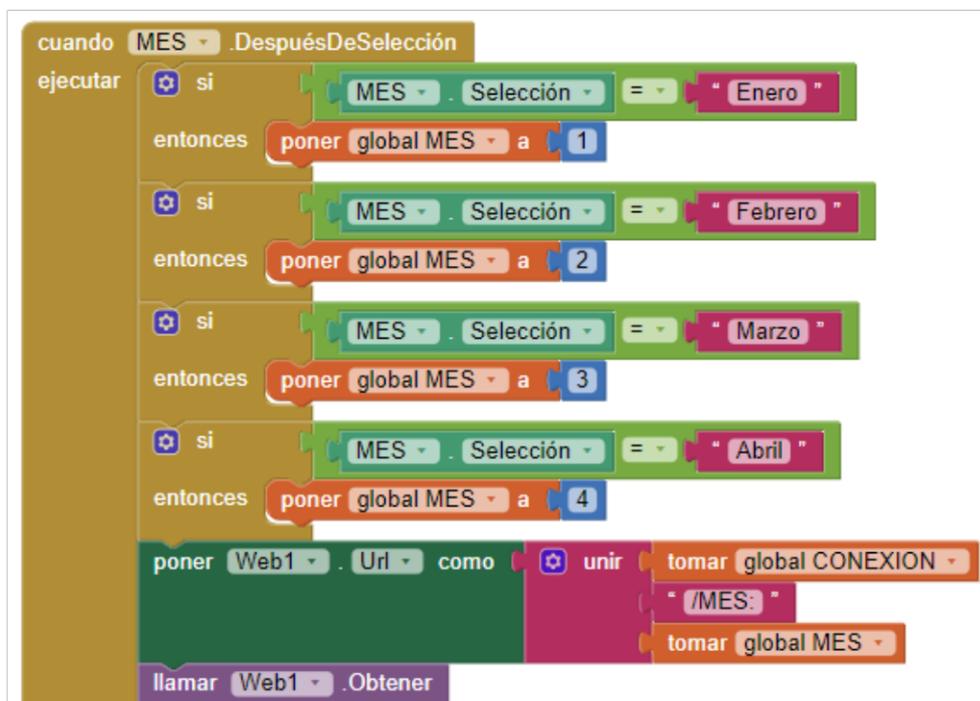


Figura 2.36 Programación para el envío del mes

Para la configuración del año, hora y minuto el proceso es similar al mostrado en la Figura 2.35.

El botón inicio que se observa en la Figura 2.31, es un comando para navegar entre pantallas y dirige a la pantalla de inicio, su programación se observa en la Figura 2.37.



Figura 2.37 Programación del botón Inicio

Para el botón Salir, la programación es la misma que la presentada en la Figura 2.30.

2.2.11.4 Pantalla de Dispositivo dos

Una vez seleccionado un dispositivo se dirige a la pantalla que se muestra en la Figura 2.38, en este caso el dispositivo seleccionado es el dispositivo dos.



Figura 2.38 Pantalla de dispositivo dos

Se debe mencionar que en esta pantalla también se necesitan componentes no visibles, los utilizados en este caso se observan en la Figura 2.39.

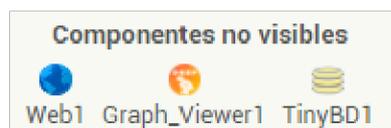


Figura 2.39 Componentes no visibles de la pantalla de dispositivo dos

El componente Graph_Viewer1 es una extensión externa instalada en la aplicación App Inventor, con esta extensión se permite realizar las gráficas de los consumos, caso contrario, App Inventor no cuenta con una herramienta directa para este propósito.

El componente TinyBD1 permite realizar una base de datos dentro de la misma aplicación y ésta no se pierde cuando la aplicación se reinicia.

En la parte superior de la pantalla se observa un bloque con dos botones, el primero sirve para apagar la alarma cuando el consumo ha rebasado los límites recomendados y el segundo botón sirve para hacer una solicitud a la tarjeta de desarrollo para obtener los datos. La programación de estos botones se observan las Figuras 2.40 y 2.41, respectivamente.

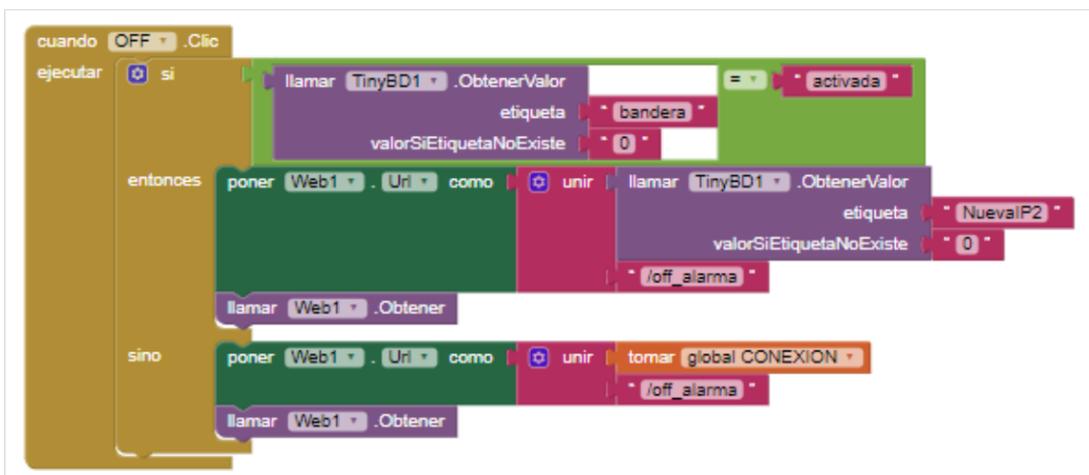


Figura 2.40 Programación del botón Apagar alarma

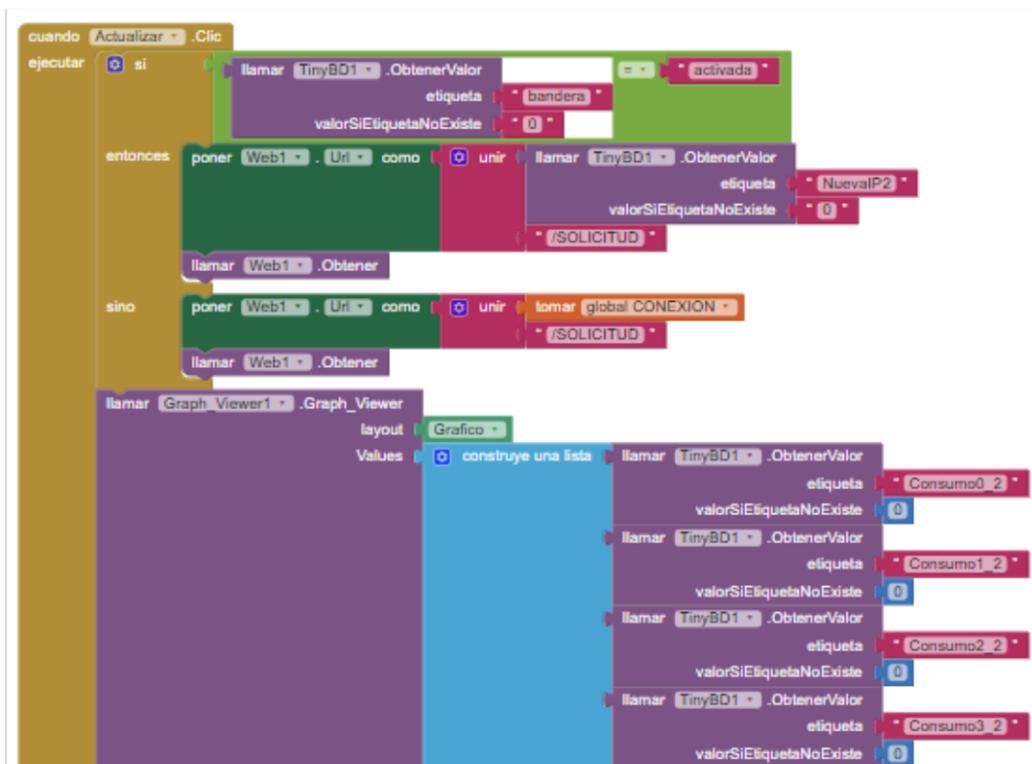


Figura 2.41 Programación del botón Actualizar

Se observa que, para el botón de apagado de alarma, existe una comparación de una bandera, esta bandera se activa cuando el dispositivo se ha conectado a la red y, por ende, su dirección IP ha cambiado, entonces es necesario guardar esta nueva dirección, caso contrario, cualquier acción se realizará con la dirección IP inicial, la misma que se observa en la Figura 2.33.

Para el botón Actualizar, se hace uso del componente no visible Graph_Viewer1, se asigna cada valor y su respectivo color.

En el segundo bloque de la pantalla, se observan dos recuadros para enviar un texto y un botón para enviar los datos de red. La programación de esta sección se observa en la Figura 2.42.

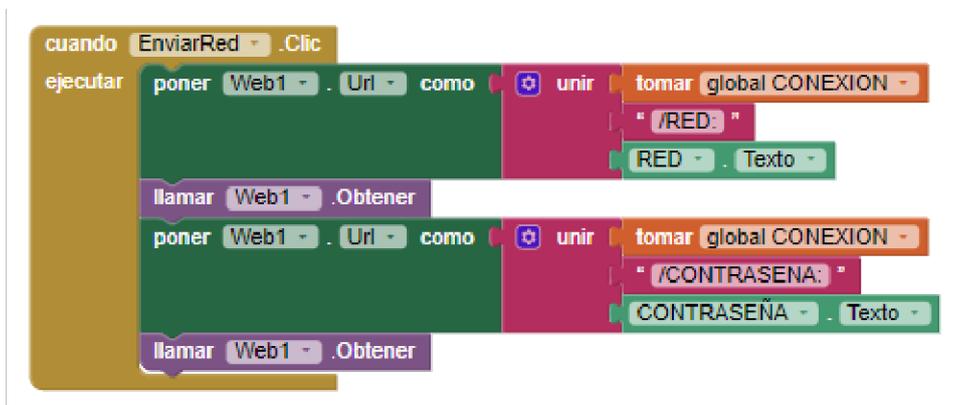


Figura 2.42 Programación para el envío de datos de red

Se observa que antes de enviar el nombre de red se antepone el texto identificador RED, de manera análoga para la contraseña se antepone el texto identificador CONTRASEÑA, este proceso se detalló 2.2.1.1.

Una vez enviados estos datos, la tarjeta de desarrollo es la responsable de realizar la conexión a la red, si la conexión es exitosa, ésta devuelve una respuesta que es la nueva dirección IP del dispositivo conectado. Entonces la aplicación móvil debe discriminar para saber qué dato está recibiendo, esto sabrá gracias al texto identificador y al número de dispositivo, este proceso se explicó en la sección 2.2.1.2. La programación de esta sección se observa en la Figura 2.43.



Figura 2.43 Programación para la recepción de nueva dirección IP

Proceso similar se realiza cuando los datos recibidos son del consumo, gracias al texto identificador se sabrá de dónde proviene el dato y a qué hace referencia. En la Figura 2.44 se observa la programación cuando se recibe el consumo del día cero y uno.

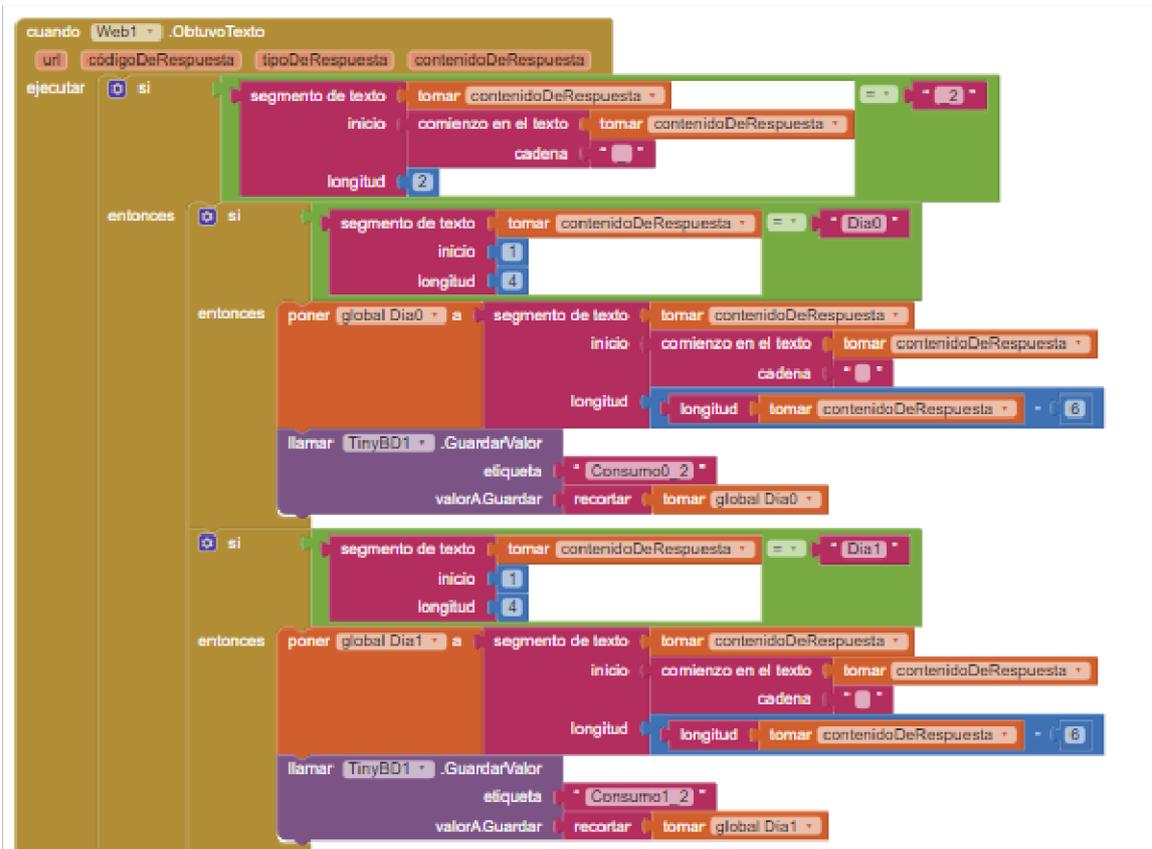


Figura 2.44 Programación para la recepción de datos de consumo

Existe un bloque de Consumo actual, en este bloque se presenta la información del consumo que se ha realizado hasta el momento y el límite de consumo recomendado, también tomará el color correspondiente de manera similar al led RGB instalado en la estructura física. La programación de este bloque se irá actualizando cuando se presione el botón actualizar datos y se observa en la Figura 2.45.

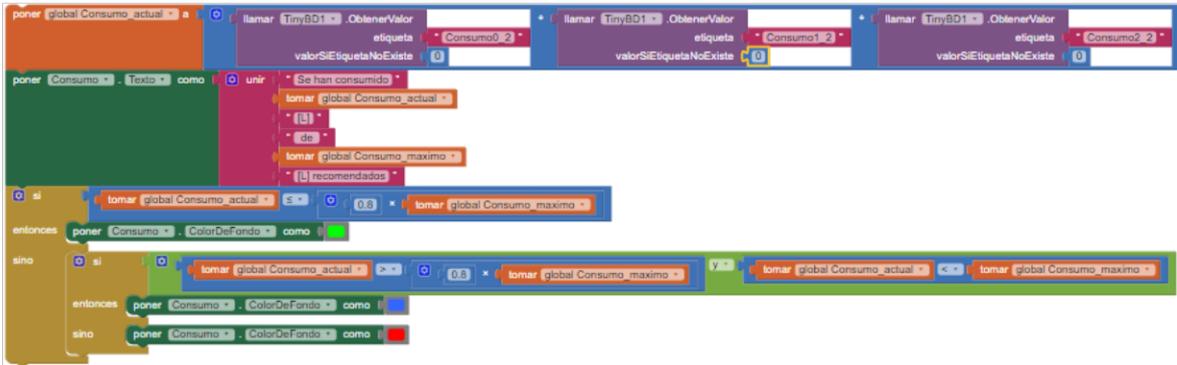


Figura 2.45 Programación del bloque consumo actual

Los resultados obtenidos del sistema terminado, así como las conclusiones y recomendaciones, se presentan en el siguiente capítulo.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta sección se presentan las pruebas y resultados obtenidos. Se inicia con pruebas individuales en donde se verifica la detección del dispositivo conectado, se verifica la medición de datos de caudal y consumo y el envío de datos desde la aplicación móvil hacia la tarjeta de desarrollo en el modo Acces Point, estos datos son los necesarios para configurar el dispositivo conectado para luego proceder con la conexión a la red del hogar. Se continúa con la verificación de envío de datos desde la tarjeta de desarrollo hacia la aplicación móvil, con estos datos se hace la prueba de gráficas, la validación de medidas y la emisión de alarmas verificando su activación en los límites de consumo recomendados. Finalmente se realizan pruebas globales en donde se comprueba que los dos dispositivos estén conectados a la red del hogar y transmitan los datos de manera simultánea.

3.1 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada prueba realizada.

3.1.1 Detección del dispositivo conectado

En este punto se necesita realizar la lectura de los pines, dependiendo de esto, la tarjeta de desarrollo tomará el nombre de red a la que se conectará y reconocerá varios parámetros, como el lugar de instalación y los valores máximos de consumo. En la Figura 3.1 se observa la lectura de este dispositivo y en la Figura 3.2 se observa el nombre que toma el sistema embebido.

```
Switches: 011  
Dispositivo conectado: 3
```

Figura 3.1 Lectura de switches para asignación de nombre de dispositivo

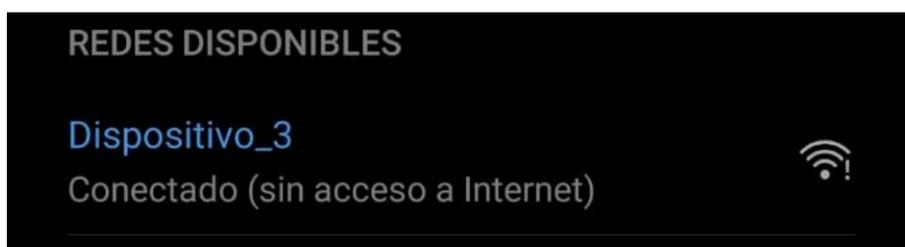


Figura 3.2 Asignación de nombre de red dependiendo de la lectura de switches

Si se realiza un cambio de posición de los switches, se tiene un nuevo dispositivo. A continuación, en la Figura 3.3 se observa la lectura de los switches en una nueva posición y en la Figura 3.4 el nuevo nombre de red.

```
Switches: 010
Dispositivo conectado: 2
```

Figura 3.3 Lectura de switches para asignación de nombre de dispositivo

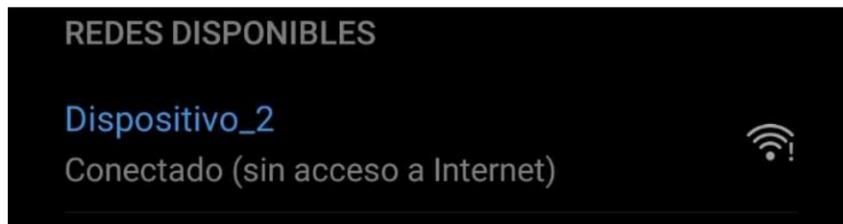


Figura 3.4 Asignación de nombre de red dependiendo de la lectura de switches

3.1.2 Medición de caudal

Una vez realizada la conexión, sea a la red o en el modo Acces Point, es necesario comprobar que la lectura del consumo se esté haciendo de manera correcta. En la Figura 3.5 se observan los consumos de diez días consecutivos.

```
Día 1: 11
Día 2: 7
Día 3: 18
Día 4: 20
Día 5: 12
Día 6: 4
Día 7: 16
Día 8: 46
Día 9: 30
Día 10: 49
Día 11: 0
Día 12: 0
Día 13: 0
Día 14: 0
```

Figura 3.5 Lectura de consumo de agua de diez días

Hay que mencionarse que el objetivo de esta prueba fue sólo comprobar la medición del consumo, el dispositivo fue instalado en la lavandería y el agua consumida no representa un consumo equilibrado, ya que para comprobar el consumo el agua fue recolectada en recipientes para diversos usos.

3.1.3 Comunicación entre la tarjeta de desarrollo y la aplicación móvil

La prueba se realizará cuando se tiene una conexión con el dispositivo tres (Dispositivo_3), para este caso se probará cuando se envía el nombre de la red y la contraseña para conectarse a internet. En la Figura 3.6 se observa el envío de datos desde la aplicación móvil.

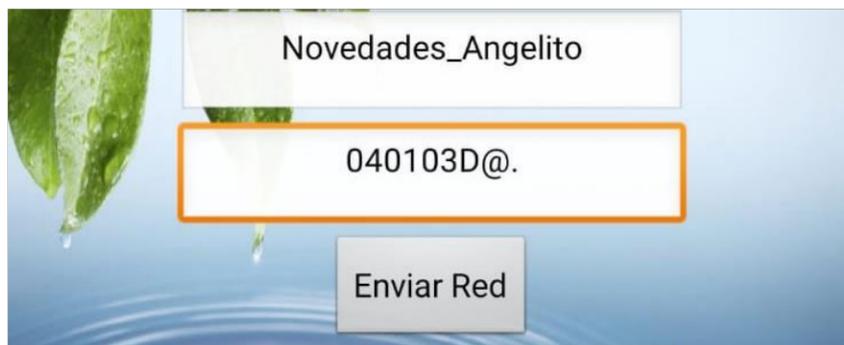


Figura 3.6 Asignación de nombre de red dependiendo de la lectura de switches

En el primer recuadro se encuentra el nombre de la red, en el segundo recuadro la contraseña y al presionar el botón Enviar Red los datos son enviados. En la Figura 3.7 se observan los resultados obtenidos en la tarjeta de desarrollo.

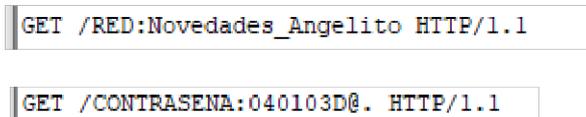


Figura 3.7 Datos recibidos en la tarjeta de desarrollo

Se observan que los datos se recibieron de manera correcta.

3.1.4 Configuración del dispositivo

Para el funcionamiento del sistema, se necesitan enviar ciertos datos a la tarjeta de desarrollo.

3.1.3.1 Número de personas

La tarjeta de desarrollo necesita conocer cuántas personas van a utilizar el sistema, el usuario debe enviar este dato desde la aplicación móvil. Se ha limitado a que el usuario pueda enviar sólo números, ya que, en caso de enviar una letra o símbolo, crea un conflicto en el cálculo de consumos máximos dentro de la tarjeta de desarrollo. Esta opción se observa en la Figura 3.8.



Figura 3.8 Envío erróneo de número de personas cuando se ingresa una letra

3.1.3.2 Datos para igualar el reloj

La tarjeta de desarrollo también necesita en reloj en tiempo real para saber cuándo se guarda un dato de consumo en un nuevo día, entonces el usuario debe enviar los datos de día, mes, año, hora y minuto. En todos estos casos, el usuario debe escoger una opción de una lista desplegable para evitar que se envíe un dato erróneo. En la Figura 3.9 se observa la lista desplegable cuando el usuario desea enviar el mes a la tarjeta de desarrollo.

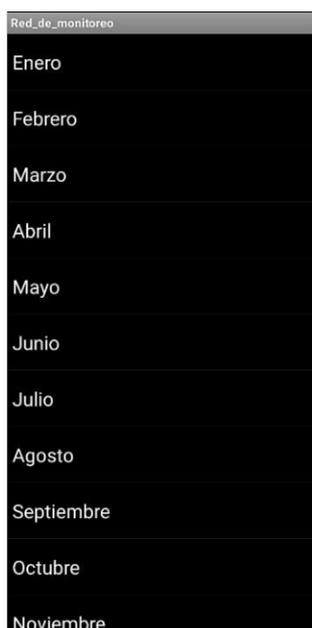


Figura 3.9 Lista desplegable para igualar el mes

3.1.5 Conexión a la red

Una vez enviados los datos de la red, estos deben servir para realizar la conexión WiFi, en la Figura 3.10 se observa la respuesta obtenida cuando se hace la solicitud de conexión con los datos de la Figura 3.6.

```
Conexión establecida. Nueva dirección IP:  
192.168.100.20
```

Figura 3.10 Conexión exitosa a la red

Para comprobar la conexión exitosa se hará una solicitud de PING, como se observa en la Figura 3.11, esto comprobará si el dispositivo ya se encuentra conectada a la red, cabe mencionarse que el computador y el dispositivo están conectados a la misma red.

```
C:\Users\Bryan Burga>ping 192.168.100.20  
  
Haciendo ping a 192.168.100.20 con 32 bytes de datos:  
Respuesta desde 192.168.100.20: bytes=32 tiempo=43ms TTL=255  
Respuesta desde 192.168.100.20: bytes=32 tiempo=56ms TTL=255  
Respuesta desde 192.168.100.20: bytes=32 tiempo=76ms TTL=255  
Respuesta desde 192.168.100.20: bytes=32 tiempo=96ms TTL=255  
  
Estadísticas de ping para 192.168.100.20:  
Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0  
(0% perdidos),  
Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:  
Mínimo = 43ms, Máximo = 96ms, Media = 67ms
```

Figura 3.11 Solicitud de PING con la dirección IP de la tarjeta de desarrollo

En el comando C:\Users\Bryan Burga>ping 192.168.100.20 se hace la solicitud, en las siguientes líneas se observa que se recibe una respuesta favorable para comprobar que la conexión se ha realizado con éxito.

3.1.6 Gráficas en la aplicación

Una vez las mediciones se realizan, se puede realizar las gráficas en la aplicación. En la Figura 3.12 se observan dichas gráficas.

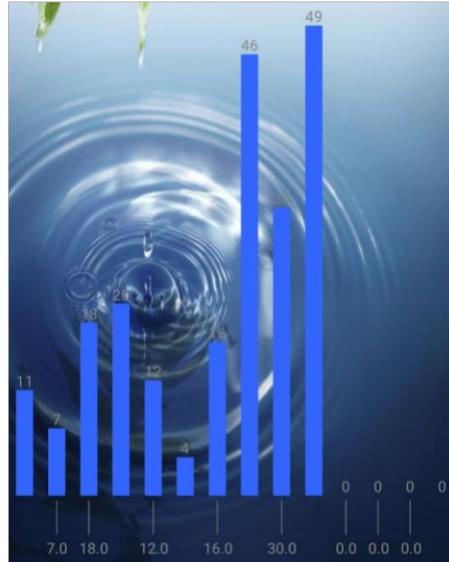


Figura 3.12 Gráficas del consumo diario de agua durante 10 días

3.1.7 Validación de medidas

Es importante y necesario verificar que el valor de consumo que proporciona el sistema es el correcto, para esto se llena un recipiente de 50 litros y se observa el valor que proporciona el sistema. La forma en la que se realizó la prueba se observa en la Figura 3.13.



Figura 3.13 Llenado de recipiente de 50 litros para validación de medidas

Una vez lleno el recipiente, se procede a observar el valor que emite el sistema, esta prueba se realizó tres veces durante tres días y los resultados se observan en la Figura 3.14.



Figura 3.14 Resultados obtenidos para la validación de medidas.

Se observa que sólo en el segundo día hubo error de un litro, para este caso se tiene un promedio de consumo diario de 49.667 litros, con este valor se procede a calcular el error relativo con la ecuación 3.1.

$$e = \frac{|V_{medido} - V_{real}|}{V_{real}} * 100 \quad (3.1)$$

Se obtuvo un error de 0.667%, en error aceptable para el sistema.

3.1.7 Alarmas

Para la emisión de alarmas se utilizó un led RGB, con este led se tendrá información de manera visual del rango en el que se encuentra el consumo de agua. Si el led es de color verde indica que el consumo está dentro de rangos aceptables, si el led es azul indica que el consumo está cerca de llegar a su límite y si el led es rojo indica que se ha llegado el límite de consumo semanal.

En la Figura 3.13 se observa el led con color verde indicando que se está dentro de los límites de consumo. En la Figura 3.14 se observan los valores de los consumos.



Figura 3.13 Alarma visual con led verde indicando un consumo tolerable



Figura 3.14 Consumo de los cuatro primeros días en la ducha

Si se suman los consumos, se obtiene que se ha consumido 107 litros en los primeros cuatro días, por lo que el consumo aún está por debajo de 112 litros que equivale al 80% del consumo máximo recomendado.

En el quinto día se encuentran los consumos que se observan en la Figura 3.15.



Figura 3.15 Consumo de los cinco primeros días en la ducha

Sumando estos consumos, se obtiene que el total es de 133 litros, que ha rebasado el 80% del consumo máximo, por ende, se despliega la primera alarma visual que es el led de color azul, como se observa en la Figura 3.16.



Figura 3.16 Led azul como advertencia que se excedido el 80% del consumo máximo

Al concluir la semana, se observan los consumos en la Figura 3.17.



Figura 3.17 Consumo de la primera semana en la ducha

Como es de esperarse, la notificación cambia, en este caso se observa el led rojo y se activa la alarma sonora que se silencia por medio del pulsador. En la Figura 3.18 se observa la advertencia visual cuando se ha excedido el consumo máximo recomendado.



Figura 3.18 Alarma visual cuando se ha excedido el límite de consumo recomendado.

3.1.8 Sistema conectado a la red

El fin de conectar los dispositivos a la red el hogar es que se puedan monitorear los consumos desde la aplicación móvil sin realizar mayores modificaciones. En la Figura 3.19, se observa en el óvalo verde que la conexión se encuentra realizada a la red del hogar y en el recuadro rojo que los datos han sido cargados de manera satisfactoria.



Figura 3.19 Dispositivo tres conectado a la red del hogar

De manera similar, el dispositivo cinco también debe poder conectarse a la red. En la Figura 3.20 se observa la conexión a la red y la actualización de datos de consumo.



Figura 3.20 Dispositivo cinco conectado a la red del hogar

3.1.9 Prueba global del sistema

Los dispositivos fueron conectados en la lavandería y en la ducha como Dispositivo_3 y Dispositivo_5, respectivamente. Se ha realizado un monitoreo durante tres semanas para analizar los consumos de agua, estos se presentan a continuación.

En la Figura 3.21 se observan los consumos de la lavandería para una persona durante una semana.

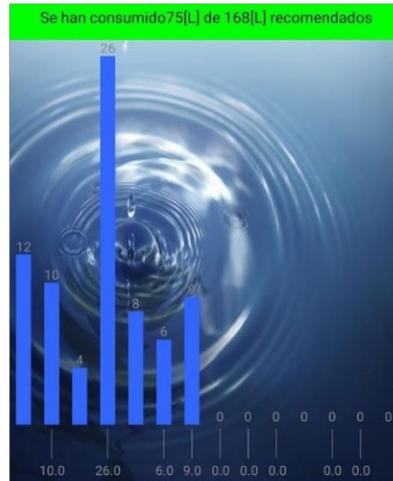


Figura 3.21 Consumo de una semana en la lavandería

Para este caso se observa un consumo desbalanceado, ya que generalmente las personas no lavan su ropa todos los días, sino que lo hacen en un día específico en la semana. El consumo de mantiene dentro de rangos tolerables. En la Figura 3.22 se observa el consumo de dos semanas.

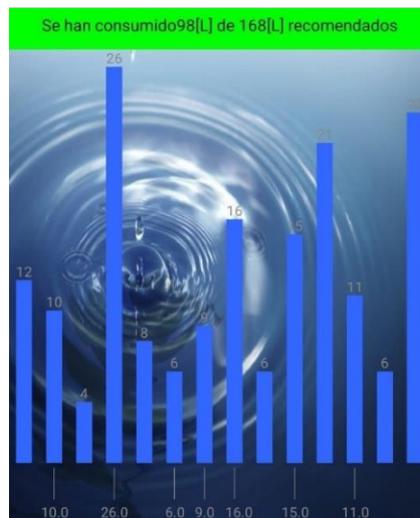


Figura 3.22 Consumo de dos semanas en la lavandería

Puede notarse que en la segunda semana se han consumido 98 litros de los 168 recomendados, se ha realizado un consumo mayor al de la anterior semana, aunque se sigue dentro de los rangos tolerables. En la Figura 3.23 se observa el consumo de una tercera semana.

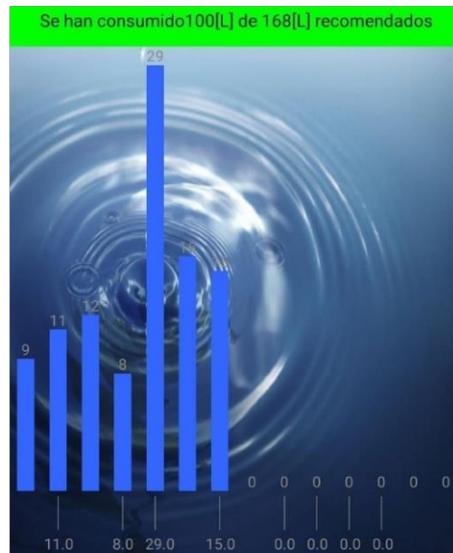


Figura 3.23 Consumo de la tercera semana en la lavandería

El consumo ha incrementado respecto a las semanas anteriores, pero aún se está dentro de los rangos tolerables.

Ahora, se analiza los consumos en la ducha, en la Figura 3.24 se observan los consumos de la ducha para una persona durante una semana.



Figura 3.24 Consumo de una semana en la ducha

Puede notarse que se ha excedido el consumo de agua en este lugar, en la primera semana se han consumido 175 litros de los 140 litros recomendados, es decir, un excedente de 35 litros. En la Figura 3.25 se observa el consumo de dos semanas.

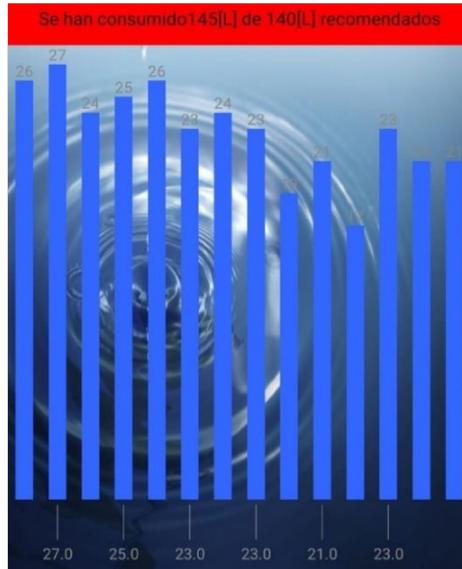


Figura 3.25 Consumo de dos semanas en la ducha

Se observa que en la segunda semana se han consumido 145 litros de los 140 litros recomendados, si bien se ha logrado un ahorro en comparación con la semana anterior, todavía hay un excedente en comparación con el consumo recomendado. En la Figura 3.26 se observa el consumo de una tercera semana.



Figura 3.26 Consumo de la tercera semana en la ducha

En este caso, al culminar la tercera semana, se han consumido 136 litros de los 140 recomendados, se ha logrado tener un ahorro en comparación a la semana anterior y además se ha logrado estar dentro del rango de consumo recomendado.

3.2 Conclusiones

- Una vez finalizadas las pruebas de los dispositivos, se puede concluir que se han cumplido los objetivos del presente trabajo.
- En el país, no se encuentran dispositivos comerciales que permitan conocer el consumo de agua en lugares específicos del hogar, la mayoría de los dispositivos están enfocados al sector industrial y el costo de dichos dispositivos muchas veces es muy alto para usarlo únicamente en el hogar, por lo tanto, desarrollar este tipo de aplicaciones ayuda a los usuarios a tener conocimiento de su consumo diario de agua en el hogar y un sistema de alertas para tener un consumo consciente del agua.
- Para la red de monitoreo, la tarjeta de desarrollo ESP32 es una muy buena opción para ser la base de dicha red, ya que permite conectarse a la internet y monitorear todo el sistema desde la aplicación móvil sin necesidad de estar conectado con un dispositivo en específico.
- Los datos de consumo que se calculan en la tarjeta de desarrollo son la base para que el sistema emita las alarmas en el momento oportuno, estos datos se calculan con un tren de pulsos que se envía desde el sensor de caudal, entonces, la correcta lectura de dicho tren de pulsos es primordial para que el sistema funcione de manera correcta y esto se logra teniendo un corto camino entre el sensor de caudal y la tarjeta de desarrollo, además de un cable de baja resistencia entre ellos.
- Para programar una tarjeta de desarrollo ESP 32 existen diversas herramientas, entre ellas el IDE de Arduino que por su uso extendido a nivel mundial posee un sinnúmero de librerías, por lo tanto, el uso del IDE de Arduino fue una buena alternativa en esta aplicación, ya que diversas librerías facilitaron el trabajo de programación.
- La herramienta de programación de aplicaciones para sistema operativo Android, App Inventor, posee una opción muy interesante que permite añadir extensiones externas, por lo tanto, gracias a estas extensiones es que se pudieron realizar las gráficas de consumos, ya que App Inventor no se posee una opción o herramienta que permita realizar las gráficas de manera directa.

- La tarjeta de desarrollo necesita crear un servidor web por medio del puerto 80 (generalmente es el que siempre se usa en este tipo de aplicaciones), pero en ocasiones este puerto se encuentra bloqueado, por lo que, si se tiene problemas con la comunicación entre la tarjeta de desarrollo y la aplicación móvil es necesario utilizar otro puerto y posteriormente liberarlo para su uso.
- Una jaula de Faraday es una caja de un material conductor que hace que los campos eléctricos en su interior sean nulos, en otras palabras, aísla al circuito que se encuentra en su interior de señales eléctricas provenientes del exterior, por lo tanto, la estructura para este dispositivo no puede ser de un material como latón o aluminio ya que no permitiría que el dispositivo se comunice por la red WiFi.
- Las señales que salen del sensor de caudal son sensibles a interferencias externas (ruido), la tarjeta de desarrollo ESP32 tiene varios pines con sensores capacitivos que son sensibles al ruido, por lo cual, es importante que para la lectura del tren de pulsos proveniente del sensor de caudal se escoja un pin que no tenga incluido el sensor capacitivo.

3.3 Recomendaciones

- Se recomienda instalar el equipo lo más lejano posible del agua, si bien la estructura está diseñada para este tipo de trabajos, nunca está demás este tipo de precauciones que ayudan a la prolongación de la vida útil del sistema.
- Si se va a utilizar la herramienta App Inventor, se recomienda revisar de antemano las extensiones que se pueden instalar, ya que la herramienta tiene ciertas limitantes y dichas extensiones son de gran ayuda en el desarrollo.
- El sistema al trabajar de manera cercana al agua necesita algunas consideraciones de protección, entre ellas se necesita que las aberturas de la estructura sean selladas y los elementos a los que tiene acceso el usuario (switches, pulsador, led, buzzer) tengas también protección para evitar salpicaduras de agua.
- Dependiendo del modelo de la tarjeta de desarrollo a utilizarse, se necesita iniciar el cargador de arranque cuando se está descargando el programa a la tarjeta, esto se realiza poniendo el pin 0 (GPIO0) en estado LOW y se logra presionando el botón BOOT mientras se inicia la descarga, es importante mencionar que no todos los modelos de las tarjetas de la familia ESP32 necesitan este proceso.

- Si un equipo se va a instalar fuera del rango de la red WiFi, es recomendable instalar un repetidor WiFi que amplifique la señal para que el equipo pueda transmitir la información sin problemas.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Banco Mundial, «América Latina: la región con más agua, la más castigada por la sed», mayo, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2015/05/13/con-las-mayores-reservas-de-agua-dulce-en-el-mundo-es-una-de-las-mas-afectadas-por-el-cambio-climatico> [Último acceso: 24 de junio de 2021]
- [2] S. Huaquisto e I. Chambilla, «Análisis del consumo de agua potable en el centro poblado de Salcedo, Puno», INVESTIGACION & DESARROLLO, vol. 19, n.º 1, pp. 133-144, 2019.
- [3] iAgua, «La escasez de agua, eje principal de las mayores crisis humanitarias en África», febrero 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/europa-press/escasez-agua-eje-principal-mayores-crisis-humanitarias-africa> [Último acceso: 25 de junio de 2021]
- [4] BBC News Mundo. «¿Por qué Australia tiene tan poca población pese a tener el mismo tamaño que Estados Unidos?», septiembre, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-45304351>. [Último acceso: 25 de junio de 2021]
- [5] UNICEF. «El agua, un derecho humano pendiente para los niños del Ecuador», diciembre, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.unicef.org/ecuador/comunicados-prensa/el-agua-un-derecho-humano-pendiente-para-los-ni%C3%B1os-del-ecuador>. [Último acceso: 25 de junio de 2021]
- [6] Fundación Aquae. «¿Cómo se reparte el gasto del agua en un hogar?», [En línea]. Disponible en: <https://www.fundacionaquae.org/como-se-reparte-el-gasto-del-agua-en-un-hogar/> [Último acceso: 25 de junio de 2021]
- [7] R. C. Grados, «Sensor de flujo electromagnético», Revista Cero Grados, abril 2022. [En línea]. Disponible en: <https://0grados.com.mx/sensor-de-flujo-electromagnetico/> [Último acceso: 9 de noviembre de 2021]
- [8] Omega, «Caudalímetro electromagnético», 2022. [En línea]. Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/caudalimetros-magneticos.html> [Último acceso: 9 de noviembre de 2021]
- [9] EQUYSIS, «Medidor Electromagnético - EF-D». Ficha Técnica. [En línea]. Disponible en: https://equysis.com/Producto/medidor-electromagnetico-ef-d_245 [Último acceso: 9 de noviembre de 2021]
- [10] Badger Meter, «Dynasonics | Medidor de flujo ultrasónico de pinza TFX-500w» Product data sheet, mayo 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.badgermeter.com/es-us/productos/medidores/medidores-de-flujo-ultrasonicos/medidor-de-flujo->

- ultrasonico-de-pinza-dynasonics-tfx-500w/#SubNavAnchor__Especificaciones
[Último acceso: 9 de noviembre de 2021]
- [11] Rosetta, «Caudalímetro Ultrasónico», notas técnicas, marzo 2021. [En línea]. Disponible en: <https://rosetta-technology.com/es/aula-tecnica/notas-tecnicas/tecnologia-caudalimetros-ultrasonicos> [Último acceso: 9 de noviembre de 2021]
- [12] I. Mosquera, «Sistema electrónico de medición de consumo de agua potable», p. 127.
- [13] Hobby Electronics, «Medidor / sensor de flujo de agua de efecto Hall YF-S201», 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.hobbytronics.co.uk/yf-s201-water-flow-meter> [Último acceso: 10 de noviembre de 2021]
- [14] StudioPieters, «ESP32 – PinOut», julio 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.studiopieters.nl/esp32-pinout/> (accedido 12 de noviembre de 2021)
- [15] Espressif, «esp32 Series» Datasheet, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf [Último acceso: 12 de noviembre de 2021]
- [16] J. Guerra, «ESP32 Wifi + Bluetooth». Programar fácil, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://programarfácil.com/esp8266/esp32/> [Último acceso: 24 de noviembre de 2021]
- [17] Instituto Tecnológico de Massachusetts, «MIT App Inventor | Explore MIT App Inventor». [En línea]. Disponible en: <https://appinventor.mit.edu/> [Último acceso: 17 de noviembre de 2021]
- [18] Handson Technology, «MB102 Breadboard 3.3V/5V Power Supply» Datasheet, enero 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.handsontec.com/dataspecs/mb102-ps.pdf> [Último acceso: 13 de diciembre de 2021]
- [19] Marca Claro, «Estos celulares dejarán de funcionar con Android a partir de septiembre; revisa que no sea el tuyo», 3 de agosto de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.marca.com/claro-mx/trending/2021/08/04/6109c67b268e3e217b8b45cf.html> [Último acceso: 29 de diciembre de 2021]
- [20] Mantech Electronics, «YF-S201» datasheet. [En línea]. Disponible en: http://www.mantech.co.za/datasheets/products/yf-s201_sea.pdf [Último acceso: 10 de noviembre de 2021]
- [21] Naylamp Mechatronics «Sensor de flujo de agua (Hall) 1/2" YF-S201», Perú, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/108-sensor-de-flujo-de-agua-12-yf-s201.html> [Último acceso: 10 de noviembre de 2021]
- [22] J. Pomares, «Control por computador. Manual de Arduino». Universidad de Alicante. España: 2009

- [23] El código ASCII, «El código ASCII Completo». [En línea]. Disponible en: <https://elcodigoascii.com.ar/> [Último acceso: 2 de enero de 2022]
- [24] H. A. Blanco S, M. Lara de Williams, A. C. Velezmoro, y V. H. Aguilar L, «Consumo de agua en actividades domésticas. Caso de estudio: Estudiantes de la asignatura saneamiento ambiental de la UCV», Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, vol. 29, n.º 1, pp. 51-56, mar. 2014.

ANEXOS

Anexo I. Manual de usuario

Anexo II. Hoja de datos del sensor de caudal YF-S201.

ANEXO I

MANUAL DE USUARIO

I.1 INTRODUCCIÓN

Se estima que para el año 2050, aproximadamente mil millones de personas vivirán en ciudades que no podrán abastecer de manera satisfactoria el consumo de agua de sus habitantes, esto debido al aumento de población, y, por ende, el aumento de demanda. A pesar de que el 70% de la superficie del planeta está cubierta de agua, apenas el 3% de ésta es dulce, y únicamente el 0.5% es asequible para consumo. La preservación de este líquido es primordial para el desarrollo de la humanidad, por esta razón se ha implementado una red de monitoreo de consumo de agua residencial que consta de dos partes, la primera parte consta de una estructura física que será instalada en la tubería donde se necesita medir el consumo de agua y la segunda parte es una aplicación móvil para sistema operativo Android que permitirá el monitoreo del consumo.

I.1.1 Objetivo

Este manual de usuario está enfocado en mostrar al usuario el funcionamiento de todo el sistema, tanto del dispositivo físico como de la aplicación móvil, para un correcto uso y de esta manera evitar daños y prolongar la vida útil del sistema.

I.2 CARACTERÍSTICAS

Esta sección se divide en dos partes, la primera parte se enfoca en el dispositivo físico que va conectado a la tubería y la segunda parte los programas desarrollados, tanto para el dispositivo físico como para la aplicación móvil.

I.2.1 Hardware

La estructura física lleva en su interior a la tarjeta de desarrollo con todos los componentes, estos deben estar al alcance del usuario, ya sea para poder percatarse de las alarmas o para su manipulación. Los componentes que están al alcance del usuario son el led RGB para las alarmas visuales, el buzzer para la alarma sonora, el pulsador para silenciar la alarma sonora, los switches para poder seleccionar el dispositivo conectado, el sensor de caudal y la fuente de alimentación. En la Figura I.1 se observa esta estructura con dichos componentes.

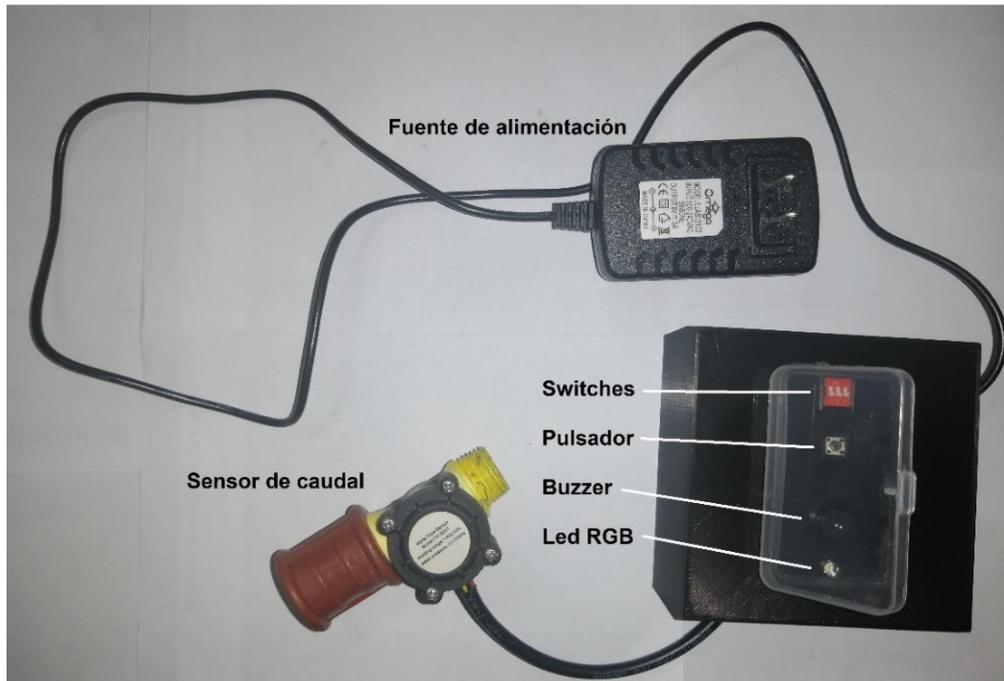


Figura I.1 Estructura física con los componentes al alcance del usuario

1.2.1.1 Led RGB

El led RGB es un indicador visual que indica el nivel de agua consumida dependiendo del lugar de ubicación, el led tendrá un color verde cuando el consumo esté por debajo del 80% del límite recomendado, tendrá un color azul cuando esté entre el 80% y el 100% y finalmente, tendrá un color rojo cuando el se haya rebasado el consumo máximo recomendado. Los límites de consumo se detallarán más adelante.

1.2.1.2 Buzzer

El buzzer es un indicador sonoro que se activará cuando el consumo haya rebasado el consumo máximo recomendado, es decir, estará activado a la par con el led rojo.

1.2.1.3 Pulsador

El pulsador es un dispositivo mecánico que permite al usuario silenciar la alarma sonora cuando esta haya sido activada.

1.2.1.4 Switches

Los switches permiten al usuario ingresar un código binario para escoger el nombre del dispositivo y el lugar donde se desea instalarlo. En la Figura I.2 se observa la posición de los switches con su respectivo nombre.

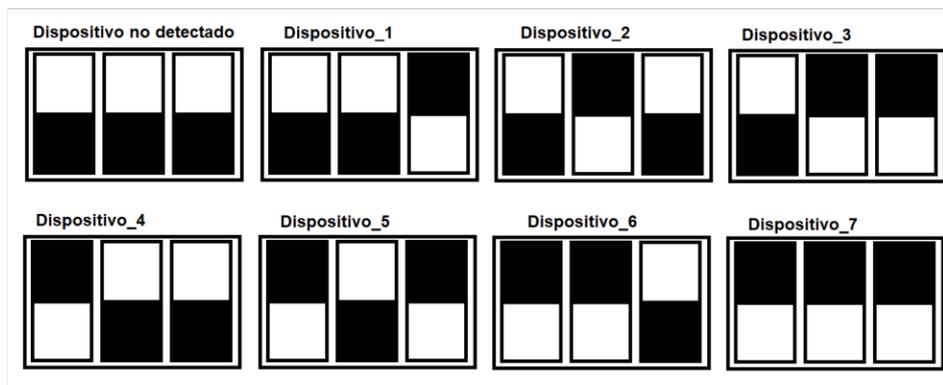


Figura I.2 Posición de switches para identificar el dispositivo.

En la Tabla I.1 se observa la ubicación de cada dispositivo con su respectivo consumo máximo recomendado semanal por persona en litros.

Tabla I.1 Detalle de switches y ubicación

N° de dispositivo	Ubicación	Consumo máximo semanal
0	No detectado	0
1	Lavaplatos	28 Lts
2	Lavandería 1	168 Lts
3	Lavandería 2	168 Lts
4	Lavabo de baño 1	28 Lts
5	Ducha 1	140 Lts
6	Lavabo de baño 2	28 Lts
7	Ducha 2	140 Lts

1.2.1.5 Sensor de caudal

El sensor de caudal debe ir conectado a la tubería. En la Figura I.3 se observa una conexión del sensor de caudal.



Figura I.3 Sensor de caudal conectado a la tubería

1.2.1.4 Fuente de alimentación

Para alimentar el sistema sólo se necesita conectar el dispositivo a la energía eléctrica, el acondicionamiento ya está realizado en el interior de la estructura física para que no existan problemas mientras el dispositivo está trabajando.

1.2.2 Software

El software que se utiliza se encuentra en la aplicación móvil, para empezar su uso se necesita realizar una conexión entre la aplicación móvil y el dispositivo conectado mediante una red WiFi. En la Figura 1.4 se observa un dispositivo disponible, la contraseña para realizar la conexión con este y cualquier dispositivo es “Medicion_Agua”.

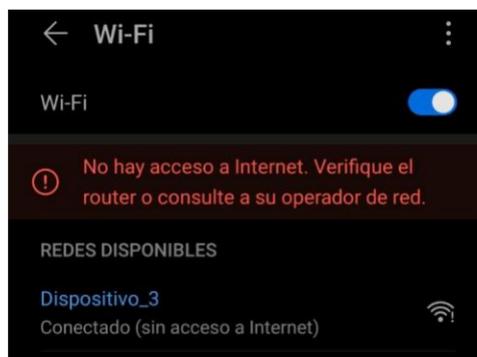


Figura 1.4 Conexión con el dispositivo

Una vez realizada la conexión, se debe abrir la aplicación en el dispositivo móvil, la aplicación debe encontrarse con el nombre “Red_de_monitoreo”. Una vez iniciada la aplicación se despliega una pantalla de bienvenida que permite la navegación con otras pantallas, a continuación, se detalla el uso de dichas pantallas.

1.2.2.1 Pantalla de inicio

Cuando se inicia la aplicación se muestra la primera pantalla de la aplicación, dichas pantalla se observa la pantalla de la Figura A.4, esta es una bienvenida al usuario y para continuar se necesita pulsar el único botón en pantalla.



Figura I.4 Pantalla de bienvenida

1.2.2.2 Seleccionar dispositivo

En esta pantalla al presionar el botón Seleccionar Dispositivo, que se observa en la Figura I.5, se despliega una lista en donde se puede escoger el dispositivo conectado o también para configurar el dispositivo, dicha lista se observa en la Figura I.6.



Figura I.5 Pantalla seleccionar dispositivo



Figura I.6 Lista desplegable al presionar el botón Seleccionar dispositivo

Para configurar el dispositivo se debe escoger la opción correspondiente, a continuación, se dirige a la pantalla que se muestra en la Figura I.7.



Figura I.7 Pantalla de configuración de dispositivo

En dicha configuración se debe ingresar el número de personas que utilizarán el dispositivo conectado a la tubería, cabe recalcar que sólo se aceptan números en esta opción. También es necesario igualar el reloj con la hora y fecha, en estos casos se desplegarán listas en donde se puede escoger el día, mes, año, hora y minuto.

1.2.2.3 Pantalla del dispositivo

Una vez configurado el dispositivo, se escoge el dispositivo correspondiente de la Figura I.6, una vez seleccionado se dirige a la pantalla que se muestra en la Figura I.8.



Figura I.8 Pantalla del dispositivo

El primer botón Apagar alarma sirve para silenciar el buzzer que se ha activado cuando se ha rebasado el consumo recomendado. El botón Actualizar datos permite actualizar las gráficas y el consumo actual semanal. El botón Enviar Red trabaja en conjunto con las casillas para ingresar el nombre de la red y la contraseña a la que se desea conectar el dispositivo, una vez realizada la conexión a la red se observará una notificación con el mensaje "Conexión exitosa". Finalmente, los botones Inicio y Salir permiten regresar a la pantalla inicial y para cerrar la aplicación, respectivamente.

La aplicación corriendo de manera normal, actualizará los datos de manera similar a lo que se observa en la Figura I.9.



Figura I.9 Presentación de datos en la aplicación móvil

I.3 RECOMENDACIONES DE USO

Para optimizar el rendimiento del dispositivo y precautelar el cuidado del mismo, se recomienda tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

- Se debe tener en cuenta que el tamaño de la tubería a la que se conecta el dispositivo es de 1/2", si se desea conectar a otra tubería se necesitan colocar acoples.
- Instalar el equipo alejado de la tubería de agua para evitar salpicaduras, aunque el dispositivo está diseñado para este tipo de trabajos, este cuidado ayuda a expandir la vida útil del sistema.
- Instalar el equipo no tan alejado al router WiFi, si la conexión es lejana se recomienda instalar repetidores WiFi para expandir la señal y los datos sean transmitidos de manera correcta.
- Al instalar el equipo se debe asegurarlo bien para evitar caídas y golpes que dañen al equipo.

ANEXO II

COSTO DE IMPLEMENTACIÓN

Es importante realizar un estudio de los costos de implementación. A continuación, en la tabla II.1, se observan los costos de los equipos utilizados en este proyecto de titulación.

Tabla II.1 Costo de implementación de un sistema embebido

Cantidad	Descripción	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
1	Tarjeta de desarrollo ESP32	\$ 18	\$ 18
1	Sensor de caudal YF-S201	\$ 8	\$8
1	Fuente 5 - 3.3 V	\$ 4	\$4
1	Fuente 9 V	\$ 9	\$ 9
1	Diseño e impresión PCB	\$ 25	\$ 25
1	Diseño e impresión 3D estructura física	\$ 45	\$ 45
1	Materiales varios	\$ 10	\$ 10
	Subtotal 1		\$ 119

En materiales varios se engloban pequeños materiales que se utilizaron en el diseño de la placa, como los switches, el pulsador, el buzzer, el led RGB con sus respectivas resistencias, cables, espadines, estaño.

En la tabla II.2 se detalla el costo de ingeniería.

Tabla II.2 Costo de ingeniería

Cantidad	Descripción	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
150	Costo de ingeniería por hora	\$ 6	\$ 900
	Subtotal 2		\$ 900

Finalmente, el costo total del sistema se observa en la Tabla II.3, nótese que se contabilizan dos sistemas embebidos, ya que al implementarse una red de monitoreo fueron necesarios dos de dichos sistemas.

Tabla II.3 Costo total

Cantidad	Descripción	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
2	Sistema embebido	\$ 119	\$ 238
1	Ingeniería	\$ 900	\$ 900
		Subtotal 2	\$ 1138

ANEXO III

HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE CAUDAL YF-S201

ITEM: YF-S201



Product Features:

1. The appearance of this product is light and flexible, small size, easy to install.
2. Impeller with stainless steel beads inside, always wear.
3. Seal using the upper and lower force of the structure will never leak.
4. Hall elements imported from Germany, and encapsulated with potting, To prevent water, never aging.
5. All raw materials are in line with ROHS testing standards

1、Product Description:

Water flow sensor is mainly composed of plastic body, water rotor components and Hall sensors.

It is installed in the water heater inlet, used to detect water flow, when the water flow through the rotor assembly,

The magnetic rotor rotates and the rotational speed changes with the flow rate change, the Hall sensor outputs the corresponding pulse

Signal, feedback to the controller, the controller to determine the size of water flow, regulation.

A、 Introduction:

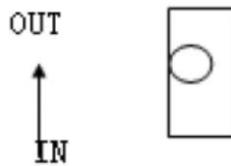
Water flow sensor consists of a plastic body, the flow of the rotor assembly and a Hall sensor.

It is installed in the water heater inlet end for detecting the flow of water when the water flow through the rotor assembly,

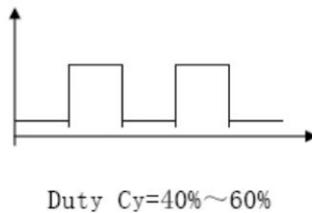
A magnetic rotor and the flow speed is adapted to change, the Hall sensor output corresponding pulse

Signal feedback to the controller, the controller is determined by the size of the water traffic regulation.

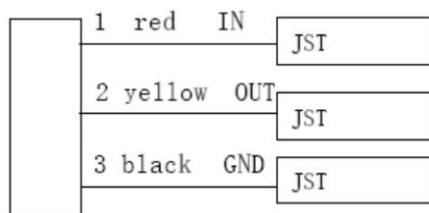
B、 A schematic view of the mounting direction



C、 Output waveforms:



D、 Wiring:



E、 Technical Parameters:

Scope: Suitable for automatic gas water heater

Technical Parameters

- 1, the minimum rated operating voltage DC 5V-24V
- 2, the maximum operating current of 15 mA (DC 5V)
- 3, the working voltage range DC 5 ~ 18V
- 4, the load capacity of ≤ 10 mA (DC 5V)
- 5, the use of temperature range ≤ 80 °C
- 6, the use of humidity range of 35% to 90% RH (no frost state)
- 7, to allow pressure water pressure below 1.75Mpa
- 8, save the temperature $-25 \sim +80$ °C
- 9, save humidity 25% ~ 95% RH

Flow - Refer to the table of pulse characteristics									
Flow	Pulse	Error	Min	Max	Flow	Pulse	Error	Min	Max
2	15	± 1.020	15.3	14.7	6.1	45.8	± 3.2	47.1	44.4
2.1	15.75	± 1.021	16.1	15.4	6.2	46.5	± 3.3	47.9	45.1
2.2	16.5	± 1.022	16.8	16.2	6.3	47.3	± 3.4	48.7	45.8
2.3	17.25	± 1.023	17.6	16.9	6.4	48.0	± 3.5	49.4	46.6
2.4	18	± 1.024	18.4	17.6	6.5	48.8	± 3.6	50.2	47.3
2.5	18.75	± 1.025	19.1	18.4	6.6	49.5	± 3.7	51.0	48.0
2.6	19.5	± 1.026	19.9	19.1	6.7	50.3	± 3.8	51.8	48.7
2.7	20.25	± 1.027	20.7	19.8	6.8	51.0	± 3.9	52.5	49.5
2.8	21	± 1.028	21.4	20.6	6.9	51.8	± 3.10	53.3	50.2
2.9	21.75	± 1.029	22.2	21.3	7	52.5	± 3.11	54.1	50.9
3	22.5	± 1.030	23.0	22.1	7.1	53.3	± 3.12	54.8	51.7
3.1	23.25	± 1.031	23.7	22.8	7.2	54.0	± 3.13	55.6	52.4
3.2	24	± 1.032	24.5	23.5	7.3	54.8	± 3.14	56.4	53.1
3.3	24.75	± 1.033	25.2	24.3	7.4	55.5	± 3.15	57.2	53.8
3.4	25.5	± 1.034	26.0	25.0	7.5	56.3	± 3.16	57.9	54.6
3.5	26.25	± 1.035	26.8	25.7	7.6	57.0	± 3.17	58.7	55.3
3.6	27	± 1.036	27.5	26.5	7.7	57.8	± 3.18	59.5	56.0
3.7	27.75	± 1.037	28.3	27.2	7.8	58.5	± 3.19	60.3	56.7
3.8	28.5	± 1.038	29.1	27.9	7.9	59.3	± 3.20	61.0	57.5
3.9	29.25	± 1.039	29.8	28.7	8	60.0	± 3.21	61.8	58.2
4	30	± 1.040	30.6	29.4	8.1	60.8	± 3.22	62.6	58.9
4.1	30.75	± 1.041	31.4	30.1	8.2	61.5	± 3.23	63.3	59.7
4.2	31.5	± 1.042	32.1	30.9	8.3	62.3	± 3.24	64.1	60.4
4.3	32.25	± 1.043	32.9	31.6	8.4	63.0	± 3.25	64.9	61.1
4.4	33	± 1.044	33.7	32.3	8.5	63.8	± 3.26	65.7	61.8
4.5	33.75	± 1.045	34.4	33.1	8.6	64.5	± 3.27	66.4	62.6

4.6	34.5	±1.046	35.2	33.8	8.7	65.3	±3.28	67.2	63.3
4.7	35.25	±1.047	36.0	34.5	8.8	66.0	±3.29	68.0	64.0
4.8	36	±1.048	36.7	35.3	8.9	66.8	±3.30	68.8	64.7
4.9	36.75	±1.049	37.5	36.0	9	67.5	±3.31	69.5	65.5
5	37.5	±1.050	38.3	36.8	9.1	68.3	±3.32	70.3	66.2
5.1	38.25	±1.051	39.0	37.5	9.2	69.0	±3.33	71.1	66.9
5.2	39	±1.052	39.8	38.2	9.3	69.8	±3.34	71.8	67.7
5.3	39.75	±1.053	40.5	39.0	9.4	70.5	±3.35	72.6	68.4
5.4	40.5	±1.054	41.3	39.7	9.5	71.3	±3.36	73.4	69.1
5.5	41.25	±1.055	42.1	40.4	9.6	72.0	±3.37	74.2	69.8
5.6	42	±1.056	42.8	41.2	9.7	72.8	±3.38	74.9	70.6
5.7	42.75	±1.057	43.6	41.9	9.8	73.5	±3.39	75.7	71.3
5.8	43.5	±1.058	44.4	42.6	9.9	74.3	±3.40	76.5	72.0
5.9	44.25	±1.059	45.1	43.4	10	75.0	±3.41	77.3	72.8
6	45	±1.060	45.9	44.1	Note: Pulse (Hz) = [7.5x Flow Rate Q (L / min)] ± 3%				