



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Desarrollo de un prototipo para la obtención de datos de manera inalámbrica
de un medidor de agua

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Víctor Ricardo Bayas Agurto

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

Le dedico este proyecto de titulación a mi amada madre, quien con sus palabras de motivación no dejó nunca que desfallezca y pueda seguir adelante.

A mis hermanos que, aunque no los vea diariamente, han estado siempre presentes en mi vida y esta es una manera de demostrar que, aunque la vida es dura, con perseverancia y esfuerzo se pueden lograr los sueños más difíciles.

A mis abuelas Vicenta, Haydee y Olga, que gracias a sus regaños y cuidados hicieron de mí el hombre que hoy soy.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por mostrarme de alguna manera que aun en los momentos más difíciles, hay una luz que nos guía a la meta.

A mis padres quienes me han ayudado en todos los ámbitos posibles, que no solo se preocuparon en las enseñanzas académica, si no en demostrarme que, con valores y virtudes, los golpes de la vida son más llevaderos.

A Segundo Manzo y a Evelyn Chong, amigos y compañeros incondicionales, quienes han estado en los momentos más difíciles y alegres de mi vida académica, ayudándome a ver el lado amable de las dificultades y las posibilidades para salir adelante.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Víctor Ricardo Bayas Agurto* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Víctor Ricardo Bayas Agurto

EVALUADORES

María Antonieta Álvarez Villanueva

PROFESOR DE LA MATERIA

Verónica Alexandra Soto Vera

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Uno de los objetivos de las instituciones privadas y gubernamentales es reducir los costos de operación, los cuales incluyen gastos por consumo de servicios básicos y al no tener dispositivos de medición y monitoreo constante, resulta complicado e inclusive más costoso realizar esta actividad, y en muchas ocasiones lleva a la creación de departamentos encargados de reducir dichos gastos.

En la actualidad, con la ayuda de la tecnología y el desarrollo constante del internet de las cosas, pueden realizarse diversas mediciones en tiempo real, sin requerir la intervención constante de una persona. Es por eso que debido al gran consumo y al difícil control del agua potable en el hospital León Becerra de Guayaquil, se ha desarrollado un prototipo de comunicación inalámbrica, el cual transmite el volumen que atraviesa por una tubería específica, mediante tecnología ZigBee y bajo el estándar IEEE 802.15.4 en donde el receptor es un dispositivo similar, el cual está conectado a una computadora y mediante una interfaz web, se pueden ver en tiempo real datos como: el volumen total atravesado hasta el momento, el caudal instantáneo y una visualización del consumo en intervalos de tiempo específicos para según esto determinar en qué momentos y quienes son los que ocupan mayor cantidad de agua y tomar las acciones necesarias.

Palabras Clave: ZigBee, medidor de agua, red inalámbrica, Xbee

ABSTRACT

One of the objectives of the private Institutions and alliance is to reduce operating costs, which partners expenditures for consumption of basic services, not having a constant measurement and monitoring, is complicated and even more expensive Carry out this activity, and on many occasions leads to the creation of departments in charge of reducing these expenses.

Today, with the help of technology and the constant development of the internet of things, different measurements can be carried out in real time, sin requiring the constant intervention of a person. That is why because of the great consumption and the difficult control Hospital of the drinking water in León Becerra of Guayaquil, has developed a prototype of wireless communication, which transmit the volume through a specific pipeline, using ZigBee technology and under the standard IEEE 802.15.4 where in Receiver is a similar device, which is connected to a computer and through a Web interface, you can see in real time data such as: the total volume traversed so far, the instantaneous flow and a visualization of consumption at intervals of Specific time to this he worked out at what times and who are the most water and take the necessary actions.

Keywords: ZigBee, water flow, measurements, wireless meter, León Becerra, XBee

Keywords: ZigBee, water meter, wireless network, Xbee

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Objetivo.....	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Marco teórico.....	4
1.3.1 Internet de las cosas (IoT)	4
1.3.2 Tecnologías inalámbricas.	5
1.3.3 Estándar de transmisión de datos.....	8
1.3.4 Características principales de ZigBee.	11
1.3.5 Tipos de dispositivos ZigBee según su función en la red.....	13
1.3.6 Módulo programable.	13
1.3.7 Medidor de flujo digital.....	15
1.3.8 Módulos de comunicación inalámbrica.	16
2. Diseño de la red inalámbrica de medidores de agua.....	18
2.1 Topología de la red inalámbrica de sensores	18
2.2 Descripción del escenario para la implementación.....	19
2.3 Cobertura de la red de medidores inalámbricos	21
2.4 Diagrama de bloques del sistema	25

2.5	Diagrama de flujo del procesamiento de datos.....	27
3.	Mediciones y pruebas de los dispositivos.....	34
3.1	Ubicación de los dispositivos	34
3.2	Pruebas a distancias variables	35
3.3	Interfaz Web	43
3.4	Precisión de los datos adquiridos	45
3.5	Costos de implementación	46
4.	Conclusiones y recomendaciones	48
4.1	Conclusiones	48
4.2	Recomendaciones.....	49
	Bibliografía	50

ABREVIATURAS

Siglas	Significado en Inglés	Significado en Español
Wi-Fi	Wireless Fidelity	Fidelidad Inalámbrica
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos
RSSI	Received Signal Strength Indicator	Indicador de Intensidad de la Señal Recibida
IoT	Internet of things	Internet de las Cosas
WPAN	Wireless Personal Area Network	Red de Área Personal Inalámbrica
WLAN	Wireless Local Area Network	Red de Área Local Inalámbrica
MAN	Metropolitan Area Network	Red de Área Metropolitana
WAN	Wide Area Network	Red de gran Área
ISP	Internet Service Provider	Proveedor de Servicio de Internet
FTTH	Fiber to the Home	Fibra Hasta el Hogar
IFTTT	If this, then that	Si ocurre Esto, Entoces has Esto
RF	Radio Frequency	Radio Frecuencia
WSN	Wireless Sensor Networks	Red de Sensores Inalámbricos
ISM	Industrial, Scientific and Medical	Industrial, Científica y Médica
PL	Path Loss	Pérdida de paso
SNR	Signal to Noise Ratio	Relación Señal/Ruido
ZC	ZigBee Coordinator	ZigBee Coordinador
ZR	ZigBee Router	ZigBee Router
ZED	ZigBee end Device	ZigBee punto Final
MAC	Media Acces Control	Control de Acceso al Medio
NTW	Network	Red
LOS	Line of Sight	Línea de Vista
NLOS	Non Line of Sight	No línea de vista

API	Application Programming Interface	Interfaz de programación de aplicaciones
ZDO	ZigBee Objects Device	Dispositivos ZigBee
BW	Band Width	Ancho de Banda
RMS	Root Mean Square	Media Cuadrática
ISI	Intersymbol Interference	Interferencia Intersimbólica
P2P	Point to Point	Punto a Punto
PHY	Physical Layer	Capa Física

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Dispositivos conectados a Internet a través de los años[6].	5
Figura 1.2 Tipos de tecnologías inalámbricas[8]	8
Figura 1.3 Arquitectura de ZigBee.	10
Figura 1.4 División de canales ZigBee[3].	11
Figura 1.5 Topologías ZigBee.	12
Figura 1.6 Arduino Uno R3.	14
Figura 1.7 Caudalímetro modelo YF-S201.	16
Figura 1.8 Módulo de comunicación XBee S1.	17
Figura 1.9 Adaptador USB – Xbee.	17
Figura 2.1 Comedor de Planta baja del Hospital León Becerra.	20
Figura 2.2 Segundo piso del Hospital León Becerra de Guayaquil	21
Figura 2.3 Diagrama de bloques de medidor de agua inalámbrico.	26
Figura 2.4 Diagrama de flujo del dispositivo de recepción	27
Figura 2.5 Diagrama de flujo del dispositivo de transmisión.	30
Figura 2.6 Diagrama de flujo del software implementado para el servidor web.	31
Figura 2.7 Diagrama de flujo del software implementado para la interfaz web.	32
Figura 2.8 Función auxiliar Render para la interfaz web.	32
Figura 2.9 Función auxiliar Set Interval para la interfaz web.	33
Figura 2.10 Función auxiliar Graficar_Data para la interfaz web.	33
Figura 3.1 Tasa de bits 5 metros con línea de vista	36
Figura 3.2 RSSI a 5 metros con línea de vista	37
Figura 3.3 Tasa de bits a 10 metros con línea de vista	38
Figura 3.4 RSSI a 10 metros con línea de vista	38
Figura 3.5 Tasa de bits a 20 metros con línea de vista	39
Figura 3.6 RSSI a 20 metros con línea de vista	39
Figura 3.7 Tasa de bits a 30 metros con línea de vista	40
Figura 3.8 RSSI a 30 metros con línea de vista	40
Figura 3.9 Análisis espectral en la banda de 2.4 GHz en situ	43
Figura 3.10 Interfaz web – Flujo de Agua.	44

Figura 3.11 Interfaz web – Análisis del volumen de agua por intervalos de tiempo 45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Comparación de protocolos de comunicación inalámbrica[4].....	9
Tabla 1.2 Especificaciones Técnicas de Arduino Uno R3[17]	15
Tabla 2.1 Valores medio de las constantes de pérdida, según su tipo[23].....	23
Tabla 2.2 Resultados de cálculos de potencia de recepción mediante el modelo 2 de propagación COST 231 para interiores	24
Tabla 2.3 Resultados de cálculos de potencia de recepción mediante el modelo 3 de propagación COST 231 para interiores	25
Tabla 3.1 Sistema de facturación de Interagua	46
Tabla 3.2 Costos de los dispositivo ZigBee.....	46
Tabla 3.3 Costos de los diferentes módulos XBee.....	47
Tabla 3.4 Costos totales del proyecto.	47

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN.

El presente proyecto de graduación está enfocado en destacar el uso de la telemetría en procesos cotidianos y de suma importancia, como lo son la prestación de servicios básicos, en este caso, el proyecto se centrará en los medidores de agua potable que, para tomar las mediciones, se requiere ir al lugar en donde se encuentra el medidor y luego tabular dichos datos. Con la telemetría se lograría una mayor eficiencia, ya que los datos podrían ser enviados de manera inalámbrica y mediante el procesamiento de datos tabular dicha información.

En la actualidad, las comunicaciones inalámbricas son una herramienta ampliamente utilizada en la implementación de proyectos que requieran transmisión de datos, resultando más favorable en muchos casos que las comunicaciones cableadas, ya sean por estas, par trenzado, coaxial, fibra óptica, entre otras, dado que los protocolos de comunicación inalámbrica suelen ser soluciones más económicas y de mayor movilidad, sin cableado especializado, por lo que implementación del sistema es mucho más simple, ahorrando mano obra y recursos.

ZigBee es un protocolo inalámbrico de corta distancia, reducido consumo de energía, baja tasa de transmisión de datos, bajo costo y comunicación bidireccional. Está desarrollado en base al estándar inalámbrico IEEE 802.15.4 sobre tecnología de redes, seguridad y software de aplicación. Puede alcanzar hasta 65000 nodos en una red a una distancia de hasta 100 metros entre cada nodo a una velocidad de transmisión de datos de hasta 250 Kb/s [1].

1.1 Descripción del problema.

En el hospital León Becerra, uno de los consumos más elevados es el del agua potable, con un gasto mensual aproximado de \$3,500 al mes.

Una de las iniciativas, fue colocar cuatro medidores tradicionales en puntos en los cuales se distribuía a una mayor cantidad de usuarios el flujo del agua, para que, de esta forma, tomar medidas independientes en cada punto y al final compararlas con el medidor de la empresa que les provee el servicio de agua potable. Con esta propuesta, se pretende corroborar si existen fugas en las tuberías propias del hospital o era simplemente un mal manejo del agua por los usuarios finales y posteriormente tomar las medidas necesarias [2].

La problemática surge debido a que no es factible realizar una toma de datos de manera eficiente, ya que, aunque los medidores fueron colocados priorizando la distribución del caudal, no se consideró el acceso para la toma de datos. Por lo que la obtención de información resulta bastante tardía, llegando a prolongarse dicha actividad hasta una semana. Esto se debe a que se requiere avisar y pedir autorización previa a los doctores, considerando que dos de los medidores se encuentran en las habitaciones 221 y 227 respectivamente, las cuales se están ocupadas la mayor parte del tiempo por pacientes internados en el Hospital, consecuentemente disponer de la habitación para realizar la medición es dificultoso. Luego de la aprobación de la solicitud emitida para la toma de datos en las habitaciones, la logística requiere de una escalera, el retiro de las planchas de yeso, acceder por las vigas y proceder a tomar los datos presentados en el medidor; proceso que toma aproximadamente 30 minutos hasta que se abandona completamente la habitación.

Debido a la necesidad de tener un control más riguroso de la cantidad de agua potable que se consume al mes, es imperativo tener un sistema de medición más eficiente y versátil para, de esta forma, enfocar de mejor manera los controles y campañas del buen uso del agua en el establecimiento.

Para ello se implementó mediante los equipos de Arduino 1 y XBee, una comunicación inalámbrica bajo el protocolo de ZigBee, debido a que su rango de comunicación está entre un radio de 10-100 metros [3], mientras que la distancia estimada entre cualquiera de los medidores hasta la oficina del personal que maneja esta información no supera los 50 metros. Otra característica importante es el precio, comparado con Wi-Fi y Lora, resulta mucho más económica la red ZigBee [4], y dada las dimensiones especificadas, resulta la opción óptima.

En este proyecto se implementará a manera de prototipo, una red compuesta de un solo transmisor y receptor. Con lo cual tendremos un sensor de flujo que adquiere información de dos características importantes como los son, la velocidad del fluido y el volumen que ha atravesado por el medidor, siendo presentados ambos, a través de una interfaz gráfica desarrollada para la visualización de los datos en cualquier computadora.

1.2 Objetivo.

1.2.1 Objetivo General.

Implementar un sistema de comunicación inalámbrico, mediante tecnología ZigBee basado en el estándar IEEE 802.15.4 para el seguimiento del consumo en tiempo real de agua potable en puntos estratégicos del Hospital León Becerra.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Investigar las características y limitaciones de los dispositivos XBee, para obtener un enfoque claro de lo que se puede y no realizar con ellos.
- Diseñar un prototipo de bajo costo económico, utilizando dispositivos que transmitan a una distancia no mayor a la del rango requerido, para una futura comercialización viable de la misma.

- Determinar el rango máximo de transmisión de los dispositivos, en el entorno en el que se utilizarán, realizando mediciones de la potencia de la señal recibida (RSSI).
- Asegurar una conectividad estable entre los dispositivos para la obtención de una red de alta fidelidad.
- Implementar los dispositivos diseñados en el hospital León Becerra de Guayaquil

1.3 Marco teórico.

1.3.1 Internet de las cosas (IoT).

Las siglas IoT ya no sólo es un término utilizado en ambientes que precisan un conocimiento avanzado de telecomunicaciones, ahora también lo encontramos en dispositivos de comunicación colectiva, como por ejemplo relojes, luces, cerraduras, sensores, etc.

Hoy en día más de nueve mil millones de dispositivos se encuentran conectados a internet, los cuales producen un tráfico de dos mil quinientos millones de giga bytes al día de datos aproximadamente, esto genera nuevas plazas de trabajo, retos y oportunidades en las diferentes áreas de telecomunicaciones. Para el año dos mil veinte se predice que el número de dispositivos sea triplicado, hasta llegar a los veintinueve mil millones, con lo cual se calcula también se creará una oportunidad de mercado global que estará valorada en 1,7 billones de dólares [5].

En la figura 1.1, podemos observar cómo ha ido evolucionando el uso de dispositivos que pueden conectarse a internet, evidenciando cifras gigantescas de crecimiento a través de los años.

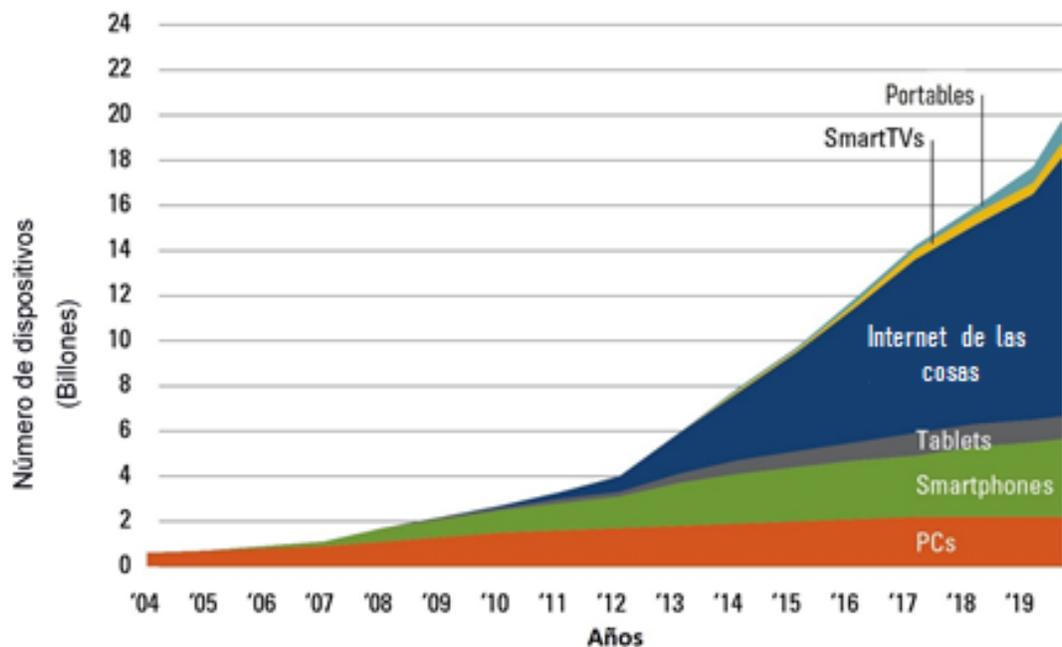


Figura 1.1 Dispositivos conectados a Internet a través de los años [6].

1.3.2 Tecnologías inalámbricas.

Para este proyecto es fundamental utilizar comunicaciones de tipo inalámbrica, ya que de esta manera se eliminará la necesidad de tomar los datos presencialmente. A continuación, se detallan algunas de las tecnologías más importantes y sus principales características, para posteriormente escoger la mejor alternativa para el desarrollo del prototipo.

En la figura 1.2 se resumen las características más importantes de las tecnologías inalámbricas descritas.

Red inalámbrica de área personal (WPAN).

Este tipo de redes, se caracterizan por operar en rangos de distancias cortos, los cuales no superan varias decenas de metros. Son principalmente usadas para intercomunicar equipos periféricos en una misma red como, por ejemplo:

teléfonos celulares, televisores, asistentes de voz, computadoras, dispositivos inteligentes para la automatización de hogares, sin necesidad de emplear cables para intercambiar información entre ellos [7].

Uno de los mayores beneficios que ofrece este tipo de tecnología, es la longevidad de su batería, ya que el consumo de los dispositivos que usan este tipo de comunicación es muy bajo, debido a que la transmisión y recepción de información no supera los 1000 kbps.

Red inalámbrica local (WLAN).

Este tipo de redes son las más usadas a nivel doméstico y empresarial, se diferencia de las redes cableadas de área local (LAN) por realizar el intercambio de información, mediante enlaces de radio frecuencias. Su mayor deficiencia es la seguridad, ya que, cualquier dispositivo con este tipo de tecnología podría conectarse a cualquier punto de acceso privado, si no tiene las medidas de seguridad necesarias.

Red inalámbrica de área metropolitana (WMAN).

Las redes WMAN facilitan las conexiones inalámbricas entre varios puntos que se encuentren en una misma área metropolitana, por ejemplo, entre varios puntos de oficina de una ciudad o en recintos universitarios, sin el alto coste que supondría el tendido de cables, ya sean de fibra óptica o coaxial, como tampoco en la necesidad de contratar un proveedor externo para el alquiler de la frecuencia y sus antenas.

Además, WMAN puede servir como respaldo de las redes cableadas en caso de alguna falla de las troncales alquiladas, ya que WMAN utiliza ondas de radio o luz infrarroja para transmitir los datos.

Wireless wide area network (WWAN).

Las redes de tipo WWAN son las que poseen el mayor alcance de todas las redes inalámbricas, entre ellas encontramos principalmente a las redes telefónicas como: GSM (Global System for Mobile Communication), GPRS (General Packet Radio System) y UMTS (Universal Mobile Telecommunication).

La intercomunicación entre varias redes LAN es conocida como una red de área amplia WAN. Entre las más importantes tenemos los satélites, la red de telefonía móvil (2G, GPRS, 3G, 4G), las empresas proveedoras de internet, entre otras.

Entre las características principales de una red WWAN, encontramos las siguientes:

- Las redes WWAN son utilizadas en su mayoría para la comunicación de equipos que se encuentren a una distancia geográficamente grande y no se pueden cubrir mediante redes LAN.
- Este tipo de redes utiliza los servicios prestados por cualquier operador.
- Las WWAN utilizan comunicaciones seriales de muchos tipos, para asegurar un ancho de banda a través de las distancias que superan la red áreas geográficas extensas.

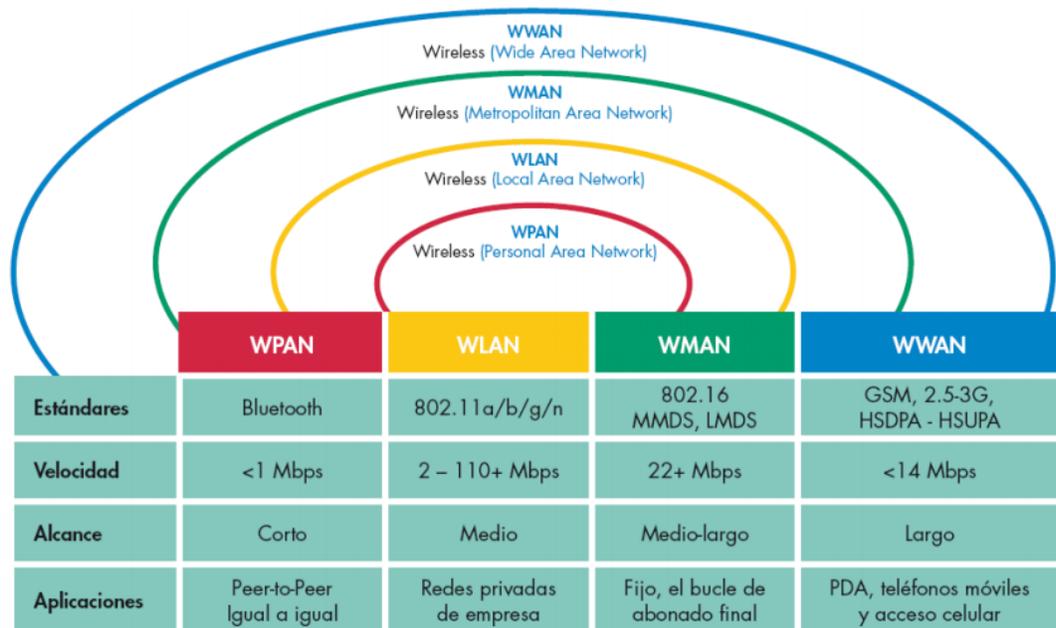


Figura 1.2 Tipos de tecnologías inalámbricas [8].

1.3.3 Estándar de transmisión de datos.

La elección del estándar para la comunicación entre los dispositivos se basó en un análisis de varios protocolos que podrían satisfacer las necesidades del proyecto. Para esto tomamos 3 aspectos como los más importantes, los cuales son: i) el alcance máximo de comunicación entre nuestros dispositivos, ii) la velocidad de transmisión de datos y iii) el consumo energético de los dispositivos.

En la tabla 1.1 se muestra una breve comparativa entre algunos protocolos de comunicación inalámbrica como: Wi-Fi, Bluetooth, LTE, Z-Wave, ZigBee y Lora, en la cual se especifica las bandas de frecuencias, velocidad de transmisión y alcance.

Tabla 1.1 Comparación de protocolos de comunicación inalámbrica [4].

	Norma	Bandas de Frecuencia	Velocidad máxima de transmisión	Alcance (Línea de vista)
Wi-Fi	IEEE802.11 a/b/g/n	2.4 - 2.4835 GHz 5.15 - 5.35 GHz (Europa, América) 5.47 - 5.725 GHz (Europa) 5.725 - 5.850 GHz (América)	1.3 Gbps	70[m]
Bluetooth	IEEE802.15.1	2.4 - 2.4835 GHz	4 Mbps	50[m]
LTE		2100 MHz CNT 1900 MHz Movistar 1700 MHz Claro	100 Mbps Downlink 50 Mbps Uplink	5[Km]
Z-Wave	IEEE802.15.4	868.42 MHz Europa Banda ISM de 900 MHz: 908.42 MHz (USA)	20 kbps	100[m]
ZigBee	IEEE802.15.4	868 MHz (Europa) 915 MHz (USA) 2.4 GHz (Resto del mundo)	20 kbps a 868 MHz 40 kbps a 915 MHz 250 kbps a 2.4 GHz	100[m]
LORA		433 MHz 868 MHz 780 MHz	100 Kbps	15[Km]

Para la realización del prototipo de este proyecto, se escogió ZigBee, como protocolo de transmisión, ya que su rango de cobertura se encuentra dentro de las distancias a las que se encuentra cada dispositivo, además que su costo, es mucho menor, comparándolos con otros como LORA, Wi-Fi, Bluetooth, etc. Además, este protocolo permite una fiabilidad de transmisión de datos con bajas tasas de interferencias y latencias [9].

ZigBee es un protocolo de comunicación inalámbrica desarrollado bajo el estándar IEEE 802.15.4, destacando el uso de redes WPAN y punto a punto (P2P), lo cual es conveniente para trabajar con sensores y actuadores en comunicaciones direccionales y bidireccionales de corto alcance [10]. Este

protocolo trabaja en 3 frecuencias diferentes: 818 MHz en Europa, 915 MHz en USA y 2.4 GHz en cualquier parte del mundo [11].

Para la arquitectura del protocolo ZigBee, el estándar IEEE 802.15.4 definió las primeras dos capas OSI, mientras que ZigBee Alliance desarrolló perfiles aplicativos, para que de esta manera los fabricantes puedan compartírselos. Además de los perfiles creados, ZigBee Alliance definió la estructura de tres capas de pila, las cuales son: La capa de red (NWK), la de seguridad (SSP) y la capa de aplicación (APL) [12]. A continuación, se muestra la arquitectura del protocolo en la figura. 1.3.

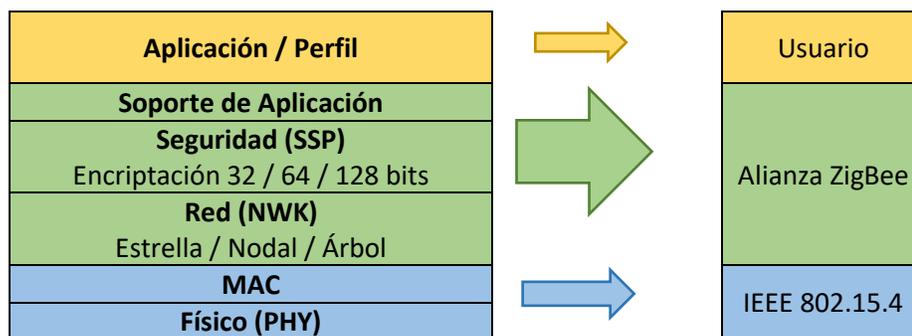


Figura 1.3 Arquitectura de ZigBee.

El protocolo ZigBee, trabaja en 3 frecuencias diferentes, dependiendo de la región en donde se use, esto se debe a las bandas existentes y consignadas en las diferentes partes del mundo. La primera, la cual es sólo usada en Europa, es 868,3 MHz, esta solo cuenta con un canal de transmisión de 1 MHz, por otro lado, en América el mismo protocolo trabaja a 915 MHz, de donde se define esta frecuencia como canal central, teniendo 10 canales diferentes que van desde 902 MHz hasta 928 MHz, siempre separados 2 MHz de distancia entre las frecuencias centrales de cada canal, evitando de esta forma el traslape entre ellas. Si se requiere una transmisión con mayor ancho de banda, este protocolo también puede transmitir a 2.4 GHz, la cual cuenta con 16 canales que van desde 2.4 GHz hasta 2.4835 GHz con una separación

entre cada frecuencia central de 5 MHz y el ancho del canal 3 MHz, mejorando de esta manera la velocidad de la transmisión de datos [3]. En la figura 1.4 se muestra la distribución de canales de las frecuencias usadas en el protocolo ZigBee.

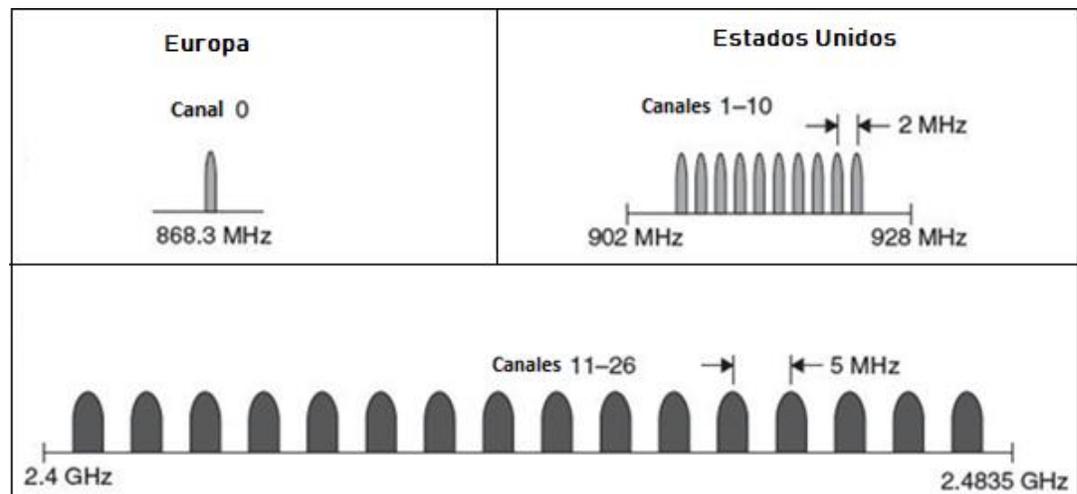


Figura 1.4 División de canales ZigBee [3].

1.3.4 Características principales de ZigBee.

A continuación, se muestran las características más destacadas del protocolo de comunicación ZigBee [12].

- **Bajo consumo energético:** El hardware que requiere el protocolo de comunicación ZigBee, tiene un consumo energético de hasta 100 mili watts (mW); es decir, es posible con dos pilas AA obtener una duración de hasta dos años, siendo esta una de las características más importante.
- **Bajo costo:** Dependiendo de la funcionalidad de los dispositivos ZigBee, estos serán más o menos costosos, pero en general, el hardware de estos dispositivos, el de su instalación y el mantenimiento es bajo [10].
- **Respuesta rápida:** El tiempo de activación de este protocolo desde el modo reposo es de aproximadamente 15 ms, mientras que para unirse a una red requiere de 30 m.

- **Menos interferencia:** Otra de las características más importantes, es que ZigBee es un protocolo sumamente tolerante a interferencias por otras señales de radio, gracias a esto, la transferencia de bits provenientes del emisor hasta el receptor no se verá afectada [14].
- **Autoorganización:** Este protocolo usa un método de autoorganización para la creación de una red donde se conectarán varios dispositivos que usen el protocolo de comunicación ZigBee. Mediante el enrutamiento dinámico se asegura una transferencia de datos más segura [15].
- **Topologías múltiples:** ZigBee admite diversas topologías de red como malla, árbol, punto a punto, estrella, etc. Algunos ejemplos se muestran en la figura 1.5.
- **Alta seguridad:** El protocolo ZigBee usa un estándar avanzado de cifrado (AES-128bit) para, de esta forma, permitir la autenticación y encriptación en la transmisión de datos. [11].

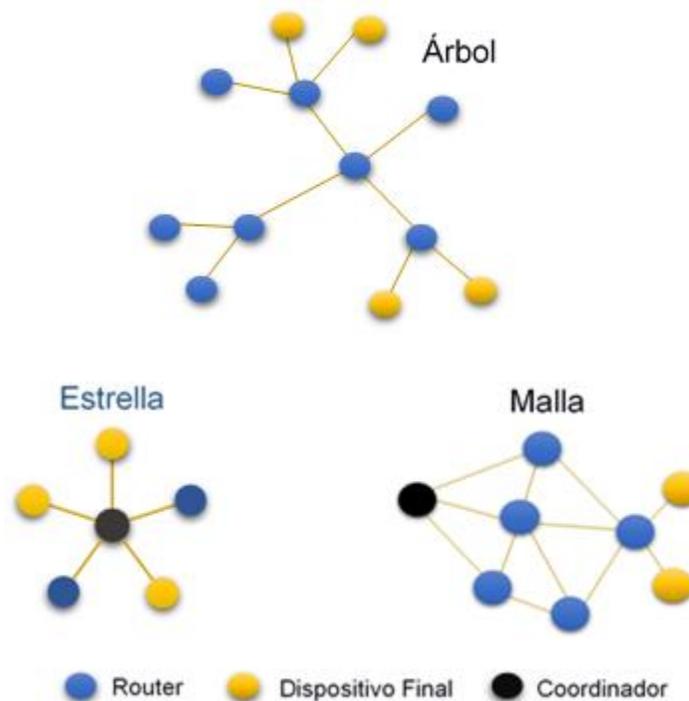


Figura 1.5 Topologías ZigBee.

1.3.5 Tipos de dispositivos ZigBee según su función en la red.

Existen tres tipos de dispositivos que pueden interactuar en una misma red y bajo el mismo protocolo de comunicación ZigBee, pero con diferentes funciones específicas, los cuales son [16]:

ZigBee Coordinador (ZC). Este tipo de dispositivos es el encargado de inicializar la creación de la red, además de ser el coordinador de la red PAN (red de área personal). Solo debe existir uno por cada red implementada.

ZigBee Ruteador (ZR). Los dispositivos que funcionan como ruteadores ZigBee son los que se asocian con los coordinadores de la red u otros ruteadores ZigBee para direccionar los múltiples saltos entre dispositivos. También pueden ser usados como coordinadores.

Dispositivos Finales ZigBee (ZED). Son dispositivos básicos que se encargan solo de adquirir información o ejecutar ciertas acciones fijadas por su coordinador, no realizan tareas de enrutamiento, debido a que sólo se comunican con su coordinador o ruteador, esto lo convierte en un dispositivo que puede pasar la mayor parte del tiempo en modo reposo, con lo que la vida media de sus baterías es alrededor de dos años.

1.3.6 Módulo programable.

El sistema embebido que se usa en este proyecto combina hardware de fácil utilización e implementación y un Software basado en código abierto, con lo cual podemos obtener diversas funciones con un solo dispositivo.

El módulo Arduino Uno R3, mostrado en la figura 1.6 es un dispositivo que permite el procesamiento de datos gracias a su microcontrolador integrado ATmega328, además cuenta con varios pines los cuales permiten extender

sus funciones, estos pueden ser módulos individuales o diversos circuitos completos que requieran un procesamiento de datos [17].

Este dispositivo cuenta con dos maneras de poder ser energizado, la primera es a través de la interfaz USB, que además es el periférico por el cual podemos realizar la programación, o directamente con una fuente mediante la entrada de poder que posee la placa.

En la tabla 1.2 se han agrupado ciertas características principales de este módulo, donde se aprecia que el voltaje de funcionamiento es de 5[V] a 50[mA], por lo que el consumo es muy bajo y adecuado para el funcionamiento diario, además posee una memoria EEPROM (memoria de solo lectura programable y borrable eléctricamente) que hace que este dispositivo sea reprogramable.

En el anexo B se detalla el funcionamiento de cada pin que posee el dispositivo.



Figura 1.6 Arduino Uno R3.

Tabla 1.2 Especificaciones Técnicas de Arduino Uno R3 [17] .

Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de Operación	5[V]
Entrada de Voltaje (Recomendado)	7-12[V]
Entrada de Voltaje (límites)	6-20[V]
Pines digitales I/O	14 (De los cuales 6 poseen salidas PWM)
Pines para entradas análogas	6
Corriente DC para pines I/O	40[mA]
Corriente DC de 3.3 V	50[mA]
Memoria flash	32 KB (ATmegaA328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (AT328)
CLOCK SPEED	16 MHz

1.3.7 Medidor de flujo digital.

En este proyecto se ha utilizado el caudalímetro YF-S201, el cual es un dispositivo que, mediante unas aspas y un par de imanes en su interior, crea un fenómeno llamado efecto Hall, el cual consiste en la creación de un campo eléctrico por la disyunción de las cargas que atraviesan el interior de un conductor por el que viaja una corriente en presencia de un campo magnético con componente perpendicular al movimiento de las cargas, de esta manera cada vez que un fluido atraviesa estas aspas, se crea un pulso que sirve para contabilizar el número de vueltas que realizan las aspas y obtener una medición de la cantidad de fluido que se ha desplazado por este dispositivo. Cada pulso representa aproximadamente 2[ml].

Este sensor, como se aprecia en la figura 1.7, posee 3 cables: el de potencia, que alimenta el dispositivo con voltajes entre 5 y 24[V] DC (corriente directa) (color rojo), el de tierra (color negro), y el de salidas de pulsos de efecto Hall (color amarillo).

En el anexo A se puede verificar la respectiva hoja de datos del dispositivo.



Figura 1.7 Caudalímetro modelo YF-S201.

1.3.8 Módulos de comunicación inalámbrica.

Los módulos de comunicación, XBee fabricados por Digi, son los que nos permiten realizar la comunicación inalámbrica basados en el protocolo IEEE802.15.4.

Existen varios modelos de módulos XBee que varían en ciertas características como su alcance de transmisión, la antena, potencia de transmisión, etc. El módulo que se escogió para la implementación de este proyecto es el XBee S1, con antena de cable, siendo este el más básico de los dispositivos XBee, mismo que se muestra en la figura 1.8.

Sin embargo, si se requiere de mucho más alcance, XBee posee varios modelos que pueden llegar a tener hasta 100 mW de potencia de transmisión (20 dBm). Así mismo estos dispositivos, tienen una sensibilidad mucho menor a los dispositivos más básicos llegando hasta los -109 dBm [18], incluso si se requiere hay módulos con los que se facilita la adaptación de antenas externas al dispositivo para mejorar mucho más la potencia de transmisión.



Figura 1.8 Módulo de comunicación XBee S1.

En estos módulos se pueden configurar 2 tipos de comunicación: Transmisión serial transparente (AT), esta viene configurada por defecto, o en modo de interfaz de programación de aplicaciones (API), con la que tenemos muchas más opciones, ya que se incrementa el nivel en donde una aplicación host, puede modificar las características de la red del módulo [19].

Uno de los métodos más sencillos para la configuración del dispositivo, es mediante el uso de un adaptador de red, este se fija por medio de los pines del XBee al adaptador (figura 1.9) y por otro lado se conecta mediante un cable USB tipo C a la PC.

Los XBee pueden establecer o unirse a 3 tipos de redes: P2P, Punto a multipunto (P2M), o en una red de tipo Malla.

Datos como la sensibilidad, potencia de transmisión, tasa de comunicación serial, rango de comunicación se detallan en el anexo C.



Figura 1.9 Adaptador USB – Xbee.

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA DE MEDIDORES DE AGUA.

En este capítulo se detallan los pasos y procedimientos que se realizaron para la implementación de la comunicación inalámbrica entre el medidor de flujo de agua y el servidor web, logrando los objetivos establecidos al inicio de este documento. Para ello se realizaron los cálculos respectivos, utilizando los modelos de propagación más adecuados para la transmisión de datos dentro del escenario propuesto, las configuraciones de los equipos a utilizar, la programación adecuada para el funcionamiento de los equipos, la elaboración de diagramas de flujo de los procesos que realiza el prototipo, los diagramas de bloques que muestran las conexiones realizadas entre los módulos y además de los modelos de dispositivos que se usaron para la implementación final del proyecto.

La implementación de este proyecto se realiza en el Hospital León Becerra, que se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil, Eloy Alfaro Delgado 2402 y Bolivia.

2.1 Topología de la red inalámbrica de sensores.

Para el diseño de una red inalámbrica de sensores es importante primero definir de qué forma se comunica cada elemento y su función en la misma, tomando en consideración que el sistema se resume en una red de sensores de adquisición y envío de una variable a un solo dispositivo de recepción. La conexión entre ellos es tipo estrella. A los dispositivos que conforman la red los llamaremos Coordinador ZigBee (ZC) y Dispositivo final ZigBee (ZED), siendo ZC el de recepción y ZED los de transmisión.

Con la configuración de los equipos como ZED y ZC, podemos llegar a obtener una red de hasta 65535 nodos, ya que los dispositivos XBee pueden admitir hasta 256 equipos en una misma red y estos a su vez pueden crear una subred de

donde pueden albergar hasta 256 nodos adicionales, consiguiendo una alta escalabilidad [20]. Otra característica de esta topología es que todos los dispositivos se conectan solo a un nodo central (ZC), con lo que resulta más sencillo identificar de manera ágil si un dispositivo está presentando fallas.

Dado que el Hospital León Becerra de Guayaquil posee sus propios medidores de agua, se los pretenden reemplazar por los prototipos propuestos en este proyecto, para obtener las medidas de manera inalámbrica. Adicional a esto, se debe añadir un solo coordinador ZC para que recpte la información enviada por todos los dispositivos finales que existan en la red.

2.2 Descripción del escenario para la implementación.

Uno de los pasos más importantes es poder realizar un reconocimiento del lugar en donde se requiere implementar la solución. Para ello se realizaron varias visitas para verificar datos importantes como: la distancia entre el punto en donde se tomarán las medidas del flujo de agua hasta donde se receptorán, el número de obstáculos en línea recta que se interponen entre el transmisor y el receptor, el grosor aproximado promedio de las paredes del edificio, puntos eléctricos cercanos para energizar al transmisor de datos, entre otros.

El Hospital León Becerra de Guayaquil se divide en varios edificios, la implementación del proyecto es realizado exclusivamente en el edificio del ala sur. Este edificio consta de 4 pisos y una terraza, en los cuales se han implementado 4 medidores volumétricos distribuidos estratégicamente para la obtención de datos lo más uniformemente posible entre cada piso, es decir que cada medidor calcula solo el flujo de un piso del edificio.

En la planta baja se encuentra uno de los medidores, este está ubicado sobre las planchas de gypsum en la parte izquierda del comedor, como se muestra en la

figura 2.1., con este dispositivo se adquieren los datos de consumo de agua de la planta baja.

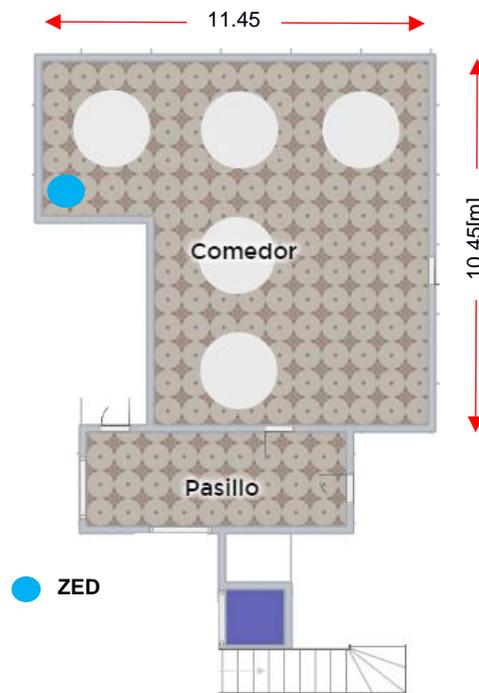


Figura 2.1 Comedor de Planta baja del Hospital León Becerra.

En la figura 2.2 se pueden visualizar 2 dispositivos finales (representados con círculos de color azul), estos son los medidores actuales del segundo piso, mismos que miden el consumo del agua del primer piso y el segundo, respectivamente. Para finalizar, en la terraza se encuentra el último, mismo que controla el consumo de agua del tercer piso. Todos estos medidores son los actuales del Hospital León Becerra de Guayaquil, y se pretenden reemplazar con los prototipos propuestos en este proyecto.

Como se muestra en la figura 2.3, el dispositivo coordinador (ZC) está ubicado en el segundo piso, ya que es el lugar céntrico entre la terraza y el comedor de la planta baja, además que en el segundo piso se dispone de 2 computadoras, una red LAN disponible y adicional se instalarán los medidores inalámbricos, con

lo cual la conexión entre estos será mucho mejor por encontrarse en el mismo piso que el coordinador.

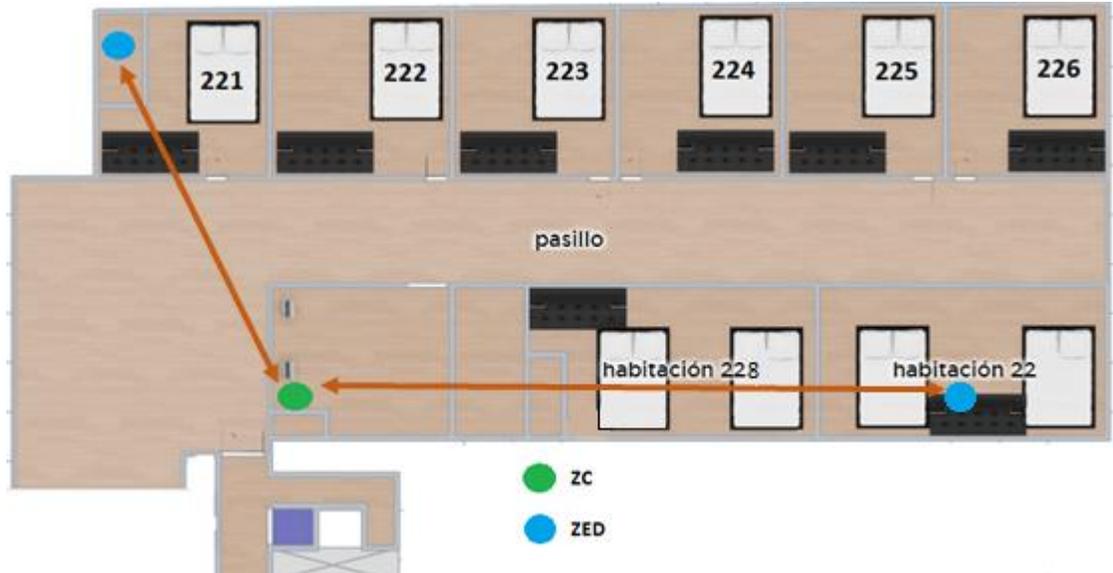


Figura 2.2 Segundo piso del Hospital León Becerra de Guayaquil.

2.3 Cobertura de la red de medidores inalámbricos.

Antes de la implementación de cualquier proyecto, es importante realizar cálculos teóricos, para de esta forma predecir ciertos aspectos de la implementación, como por ejemplo el cálculo matemático que se realiza para estimar las pérdidas y ganancias que existen desde el punto inicial del módulo de transmisión, hasta el punto final del módulo de recepción, a este tipo de cálculo se lo conoce como presupuesto de enlace.

Existen muchos tipos de modelos de propagación en los que dado sus características se aproximan más o menos a los escenarios que se requiere analizar. Para el cálculo de las atenuaciones en la transmisión de datos, el modelo COST 231 para interiores se divide en 3 modelos diferentes [21]. Con lo que para los cálculos teóricos se usó el modelo 2 y 3 de COST 231.

La ecuación (2.1) define al modelo 2 de propagación COST 231, donde L representa las pérdidas totales, L_{FS} las pérdidas en el espacio libre, calculadas por recomendación de la ITU mediante la ecuación (2.2) [22], además de las pérdidas por penetración de pisos representada por L_f , y n que representa el número de pisos que atraviesa la onda, están presentes también L_{Wi} y K_{Wi} , con lo que respectivamente representan las pérdidas por tipo de pared i y el número de paredes penetradas de ese mismo tipo i , tomando el producto de estas variables en una sumatoria que va desde 1 hasta W , donde W es el número de tipos de paredes. Este modelo también cuenta con dos constantes representadas por L_C , equivalente a 37 dB y b que es una constante empírica. Considerando todas estas características se determinó que es un modelo de propagación acorde al proyecto, ya que este posee en sus cálculos, elementos similares al del escenario de estudio. Para esto es importante conocer los valores de ciertas variables que se involucran en esta ecuación como, por ejemplo: la frecuencia en la que operan los XBee, sensibilidad de recepción, potencia de transmisión, grosor de las paredes y pisos, entre otros, para de esta manera obtener un cálculo más preciso.

$$L = L_{FS} + L_C + \sum_{i=1}^W K_{Wi} L_{Wi} + n^{\left(\frac{n+2}{n+1}-b\right)} * L_f \quad (2.1)$$

El modelo de atenuación para trayectorias en el espacio libre se lo utiliza para calcular de manera teórica la potencia con la que llega la señal entre dos dispositivos que poseen línea de vista, es decir que no existen obstáculos entre el emisor y el transmisor [22]. Es importante mencionar este modelo de atenuación, ya que es una de las variables que se necesitan para el cálculo de la ecuación (2.1).

Las pérdidas en el espacio libre (L_{FS}), están dadas por la relación logarítmica entre la distancia que separan a los dispositivos y la longitud de onda que se

trasmite, como se muestra en la ecuación (2.2), en donde f representa frecuencia de operación, d la distancia entre el emisor y receptor, y c la velocidad de la luz, que para los cálculos se usó $3.8 \times 10^8 [m/s]$.

$$L_{FS} = 20\log\left(\frac{4\pi f d}{c}\right) \quad (2.2)$$

Dado que la propagación de ondas en un medio es del tipo probabilístico, los cálculos tienen un margen de error, que se irá reduciendo al tener más información del tipo de estructura donde se trabaja. En la tabla 2.1 se muestran los valores preestablecidos para tipos de paredes y suelos, definidos como constantes de pérdida.

Tabla 2.1 Valores medio de las constantes de pérdida, según su tipo [23].

Valores de las constantes de pérdidas		
	Descripción	Factor (dB)
L_{f1}	Suelos (típicas estructuras) – Baldosas, revestimiento de hormigón, espesor típico < 30 cm	18.3
L_{f2}	Suelos – Baldosas, revestimiento de hormigón, concreto, espesor típico > 30 cm	23.2
L_{W1}	Muros internos finos – Yeso (numerosos huecos como ventanas)	3.4
L_{W2}	Muros internos – Hormigón, ladrillos (número de huecos mínimos)	6.9

Basados en la ecuación (2.1), se procedió al cálculo del presupuesto de enlace para cada uno de los puntos donde se encuentran actualmente los medidores analógicos, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 2.2. Para lo cual se tomaron los valores correspondientes a los equipos y al escenario, Los valores

de la sensibilidad del receptor y frecuencia de operación de -92[dBm] y 2.4[GHz] respectivamente se tomaron de las especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 2.2 Resultados de cálculos de potencia de recepción mediante el modelo 2 de propagación COST 231 para interiores.

Tabla de Resultados modelos 2 COST 231				
Ubicación	Medidor 1 Habitación 221	Medidor 2 Habitación 227	Medidor 3 Terraza	Medidor 4 Comedor
Distancia hasta el receptor[m]	11.51	17.54	8.5	10.5
Número de paredes atravesadas	2	6	1	0
Número de pisos atravesados	0	0	2	2
L_f [dB]	18.3	18.3	18.3	18.3
L_{Wi} [dB]	6.9	6.9	6.9	6.9
Potencia recibida[dBm]	-77	-83.984	-106.058	-100.994

Dado que los modelos de propagación son empíricos, la comparación entre los resultados obtenidos entre 2 de ellos nos brinda un panorama un poco más real del presupuesto de enlace obtenido de cada uno por separado, con lo que se procede nuevamente a calcular mediante el modelo 3 de COST 231, representada en la ecuación (2.3), el presupuesto de enlace, para posterior a esto realizar una comparación con los resultados obtenidos con el modelo 2 de COST 231 (tabla 2.2). En esta ecuación se define a L como las pérdidas totales del sistema, d la distancia entre emisor y receptor y n el número de suelos penetrados, mientras que L_f (pérdida en el espacio libre) se encuentra dada por la ecuación (2.4).

$$L = 38 + 30 \log(d) + L_f(n) \quad (2.3)$$

$$L_f = 15 + 4(n - 1) \quad (2.4)$$

Tabla 2.3 Resultados de cálculos de potencia de recepción mediante el modelo 3 de propagación COST 231 para interiores.

Tabla de resultados modelo 3 COST 231				
Ubicación	Medidor 1 Habitación 221	Medidor 2 Habitación 227	Medidor 3 Terraza	Medidor 4 Comedor
Distancia hasta el receptor[m]	11.51	17.54	8.5	10.5
Número de paredes atravesadas	2	6	1	0
Número de pisos atravesados	0	0	2	2
L_f [dB]	11	11	19	19
Potencia recibida[dBm]	-53.58	-52.71	-54.88	-57.64

Como se observa en la tabla 2.3, los resultados son un poco más alentadores puesto que la potencia calculada que llega al receptor es mucho mayor que la que se obtuvo en la tabla 2.2 usando el modelo número 22 del COST 231, aunque también es evidente que este modelo es menos preciso, porque no toma en cuenta las paredes que hay en cada oficina, solo toma como variables, los pisos que hay entre ambos dispositivos.

2.4 Diagrama de bloques del sistema

En la figura 2.3 se ha representado el sistema de comunicación inalámbrico de un medidor de agua (ZED) con su coordinador (ZC) mediante un diagrama de bloques, este consta de los módulos de transmisión y recepción.

El proceso comienza en el módulo de transmisión con el caudalímetro, que se encarga de transformar las vueltas que dan las aspas internas, en pulsos de onda cuadrada, para luego enviárselos al Arduino Uno, mismo que transforma estos pulsos en datos numéricos que representarán el caudal que está pasando y el

volumen total que ha atravesado hasta el momento, posteriormente a través de una placa de comunicación, estos datos se envían al dispositivo de transmisión inalámbrica XBee S1, con el que se transmiten de manera inalámbrica todos los datos hacia el otro dispositivo XBee configurado como coordinador.

Una vez receptada la información pasa a través de una segunda placa de comunicación, para de esta forma llegar al Arduino Uno, que está conectado mediante un cable USB a una computadora, el cual funcionará como servidor web.

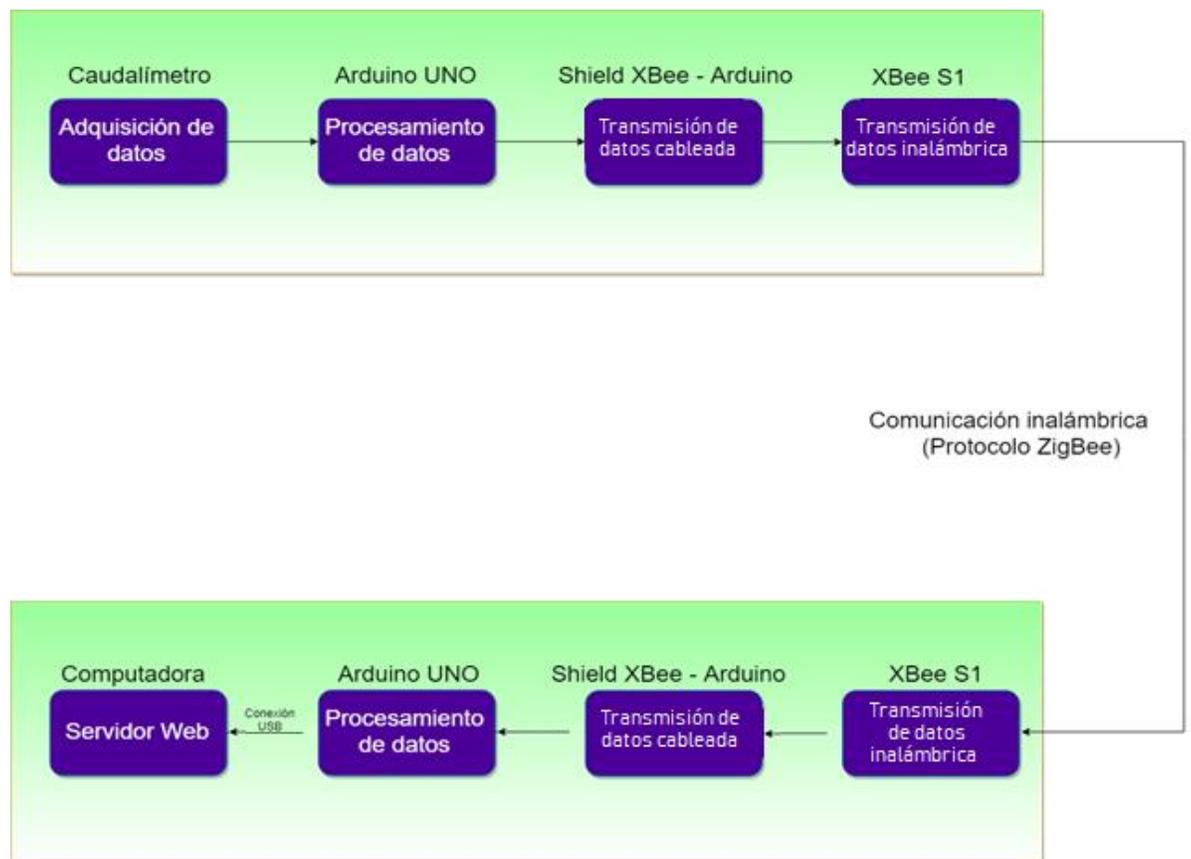


Figura 2.3 Diagrama de bloques de medidor de agua inalámbrico.

2.5 Diagrama de flujo del procesamiento de datos.

El código de programación está dividido en 4 secciones individuales, de las cuales se visualizan sus respectivos diagramas de flujo en las figuras 2.4, 2.5, 2.6, y 2.7 respectivamente. A continuación, se describe cada una de ellas.

En la figura 2.4 se observan los pasos más importantes para la recepción de los datos en el coordinador ZigBee, siendo el primero la inicialización de la variable DATA, esta será la que se modifique cada vez que llegue un nuevo paquete de datos. Luego es importante definir la velocidad de baudios por segundo ya que, tanto el coordinador ZigBee como el receptor, deben tener los mismos valores, a continuación, mediante una comparación se comprueba si el espacio de memoria asignado a la variable DATA es diferente de 0, para posteriormente imprimir el valor numérico de la variable y de esta manera entrar en un lazo infinito.

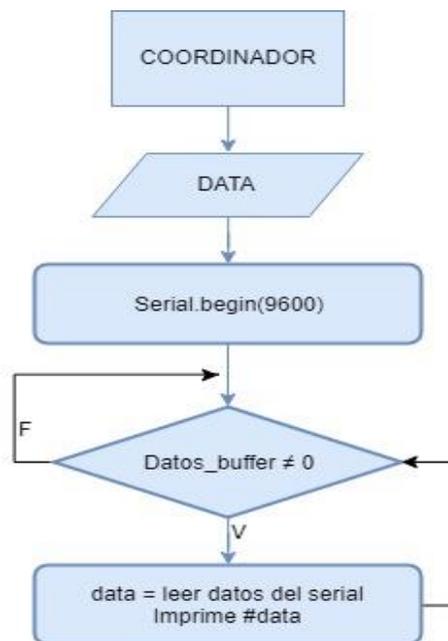


Figura 2.4 Diagrama de flujo del dispositivo de recepción.

En la figura 2.5 se visualiza el diagrama de flujo para la recolección de los datos desde el dispositivo final ZigBee (ZED).

El proceso comienza inicializando la constante " tiempo envío ", con un valor de 250, este representa los 250 milisegundos que esperará el dispositivo para cada envío de paquete que se haya recolectado, así como en el dispositivo de recepción, la velocidad se establece en 9600 baudios por segundos.

Para el conteo de los pulsos cuadrados generados por el caudalímetro, se procede a inicializar una variable llamada "cnt_pulse" y a su vez se habilita un proceso llamado "INTERRUPCIÓN PULL UP", en donde se va contando cada uno de estos pulsos, para posteriormente enviarse al dispositivo receptor.

En la figura 2.6, se visualiza el diagrama de flujo del código con el que se programa una aplicación web, esta hará que un computador funcione como servidor para la recepción, organización e impresión de los datos de manera gráfica. De esta manera se visualizará la información actualizada en cualquier dispositivo que este en la misma red.

En este proceso, mediante la división de la información recibida entre 3,84 (constante calculada mediante pruebas), los pulsos se transforman en cantidades de litros y caudal, agrupándolos en cadenas de datos para posteriormente ser visualizados en una interfaz de usuario final.

En la figura 2.7 se muestra el diagrama de flujo del código con el que se programa una aplicación web y posteriormente se la ejecuta en una computadora para poder visualizar la información recolectada por el dispositivo final ZigBee.

En la interfaz del usuario, mediante los procesos descritos en la figura 2.7, se puede visualizar de manera gráfica los datos de caudal instantáneo y volumen que haya fluido. Este segundo dato puede ser ajustado a las necesidades requeridas por el usuario final ya que se puede escoger una hora y fecha específica para la visualización de los datos en ese periodo de tiempo. En este

segmento de programación se usaron tres subfunciones que se llevan a cabo para la visualización de los datos de manera gráfica, con esto se prevé cambios más rápidos y fáciles en el código general.

La función principal se divide en Main.js e Index.html las cuales se encargan de declarar y configurar las variables que almacenan los datos recibidos. Cuando el dispositivo recibe algún tipo de información los datos se renderizan, con ayuda de la subfunción render (figura 2.8), misma que envía los valores a index.html. Una vez obtenidos los datos, la función Set_Interval (figura 2.9) se encarga de adecuar continuamente el número de particiones del eje X para tener siempre una buena visualización de los datos, con ayuda de index.html que es quien recibe los datos y los imprime en un archivo de texto txt. La función Graficar Data (figura 2.10), muestra en detalle la curva que se genera a partir de la información adquirida constantemente.

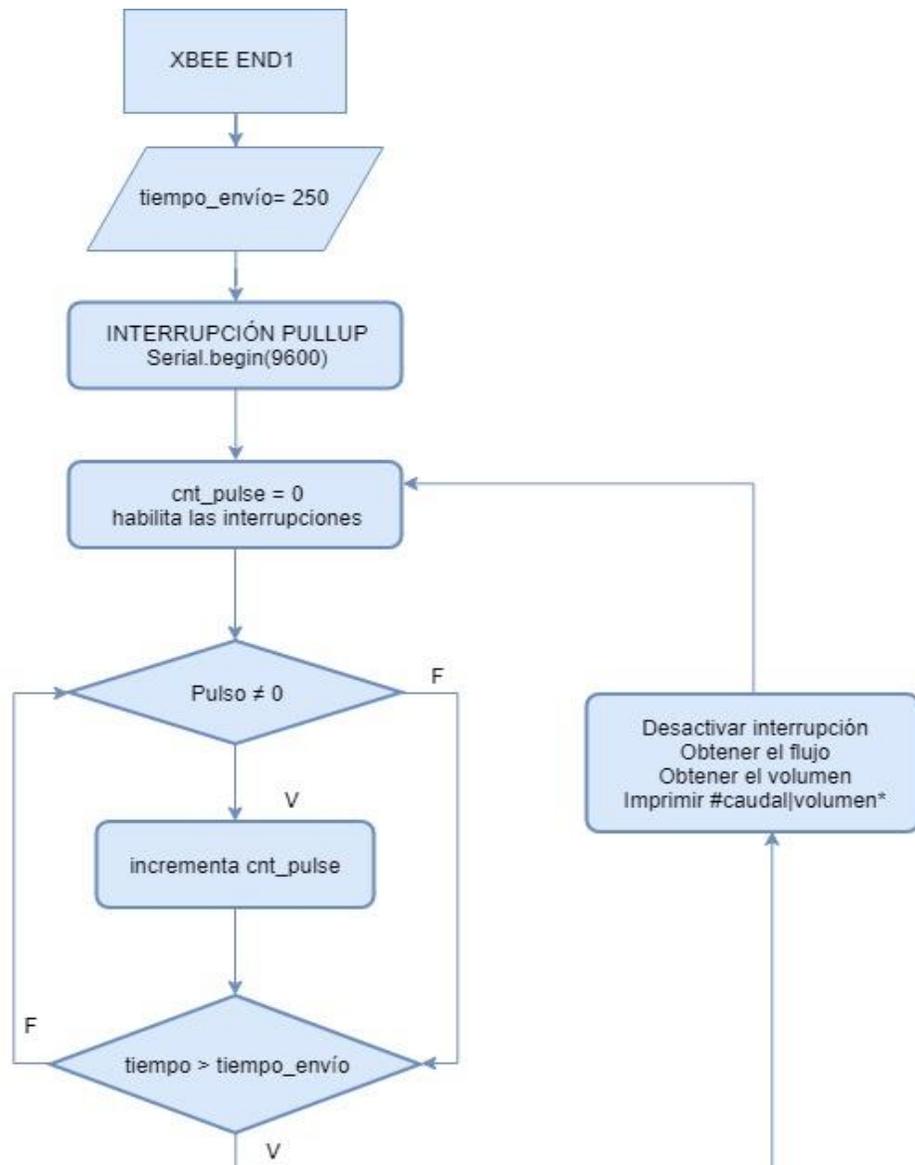


Figura 2.5 Diagrama de flujo del dispositivo de transmisión.

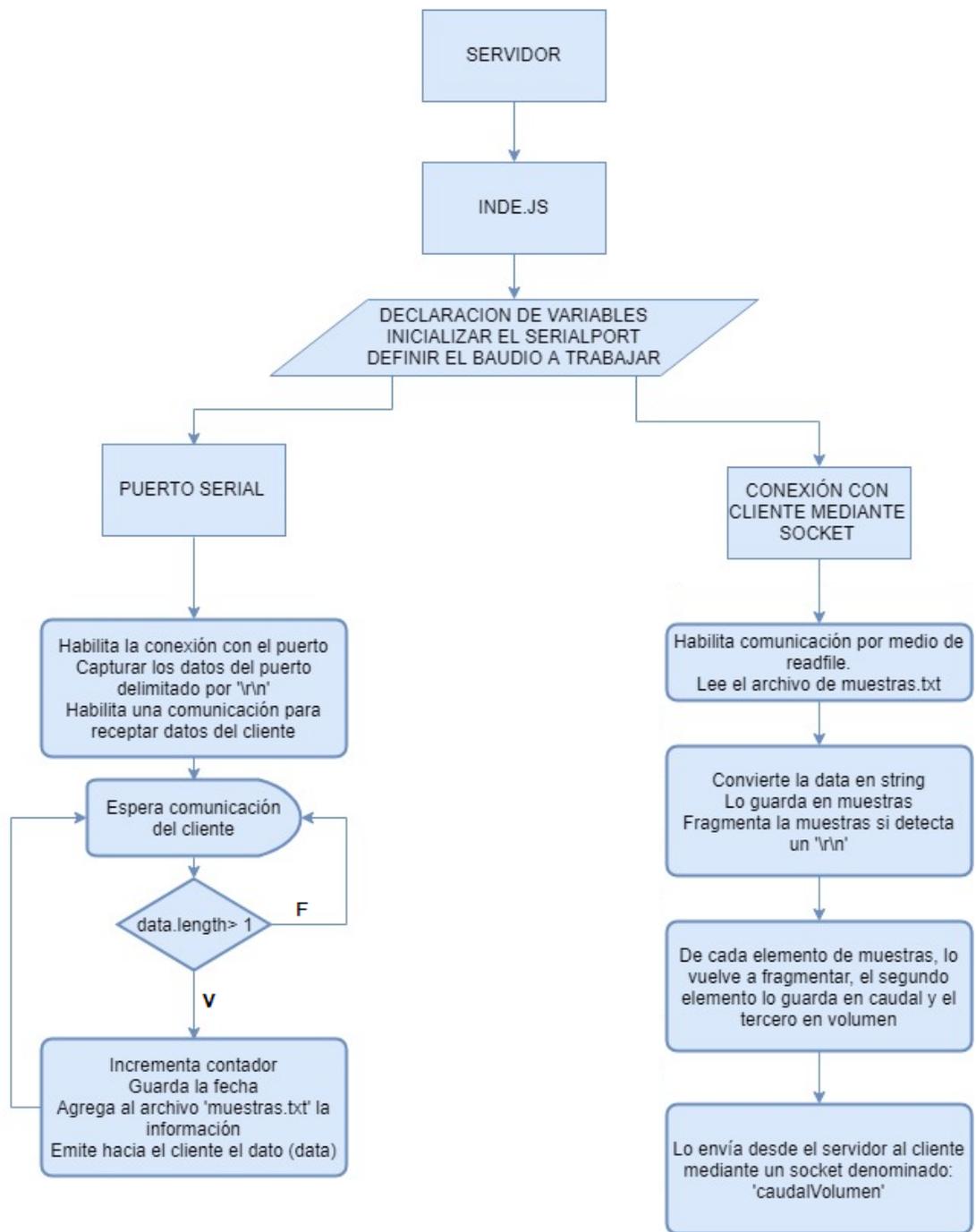


Figura 2.6 Diagrama de flujo del software implementado para el servidor web.

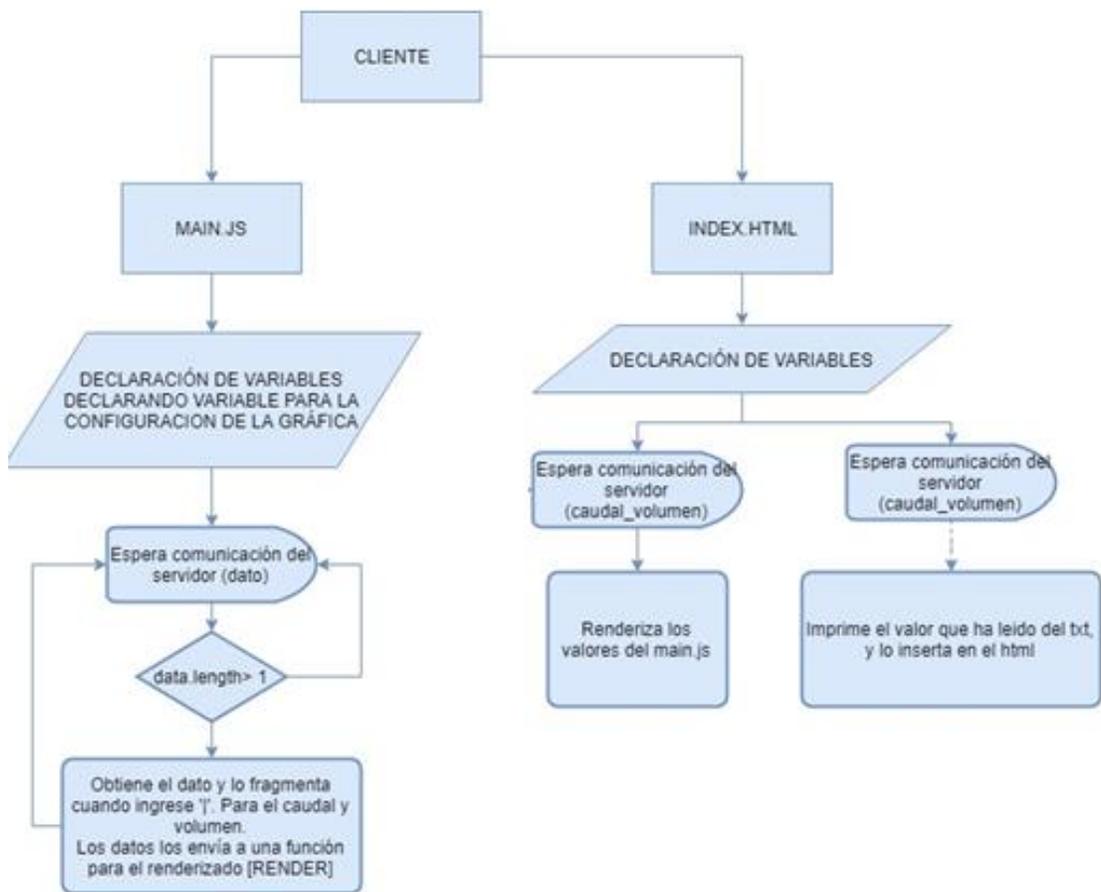


Figura 2.7 Diagrama de flujo del software implementado para la interfaz web.

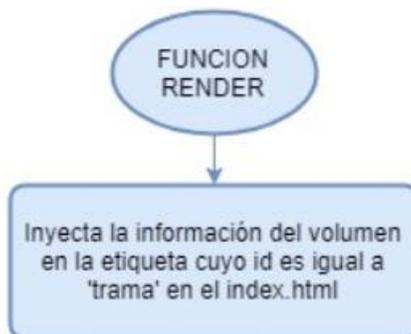


Figura 2.8 Función auxiliar Render para la interfaz web.



Figura 2.9 Función auxiliar Set Interval para la interfaz web.

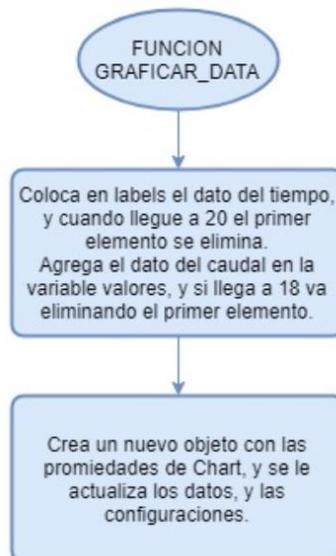


Figura 2.10 Función auxiliar Graficar_Data para la interfaz web.

CAPÍTULO 3

3. MEDICIONES Y PRUEBAS DE LOS DISPOSITIVOS.

En este capítulo se presentan las pruebas para determinar los valores reales del alcance de la comunicación, el ruido en los canales utilizados, la tasa de datos enviadas, la tasa de datos recibidas y la potencia promedio e instantánea de recepción.

Para esto se requiere el software XCTU, desarrollado por Digi International, creadores de los dispositivos XBee. Esta herramienta está enfocada en facilitar las configuraciones de los dispositivos mencionados, así como en realizar pruebas y mediciones con ellos. En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos a distancias variadas y con diferente número de obstáculos entre el receptor y el emisor para definir el alcance máximo real de los dispositivos.

3.1 Ubicación de los dispositivos.

Luego del análisis de los cálculos teóricos, se determinó que la mejor alternativa para la implementación de los dispositivos transmisor y receptor es, colocar el transmisor (ZED) en el segundo piso en el baño de la habitación 221 y el dispositivo coordinador (ZC) en el área de recepción conectado a una de las computadoras en el mismo piso. Esto debido a que la distancia entre los dispositivos es de 11,51 metros aproximadamente y solo atraviesa 2 paredes, ideal para la transmisión de datos con una baja tasa de errores y buena potencia de recepción.

Para el despliegue de los 3 medidores faltantes, es importante tener en cuenta los valores teóricos calculados previamente, ya que la distancia y el número de obstáculos no favorece al sistema por las pérdidas que se generan. No obstante, como se mencionó en el capítulo 1, para este prototipo se usó los modelos más básicos de XBee por lo que, si se necesita aumentar el rango de alcance basta

con cambiar estos dispositivos por unos más avanzados como por ejemplo el XBee S2, los cuales, poseen el doble de potencia de transmisión y menor sensibilidad de recepción.

3.2 Pruebas a distancias variables.

Con el objetivo de determinar el máximo alcance real de los dispositivos a emplear, se realizaron mediciones de potencia de la señal recibida (RSSI) dadas en decibelios (dB), la tasa de transmisión de datos entre los dispositivos dada en Kilobits por segundos (Kbps), así como también un análisis del espectro en la frecuencia de 2.4 GHz para asegurar que el ruido que generan los demás dispositivos no provoque interferencia dentro del entorno en el cual operará el sistema. Las pruebas se realizaron a distancias variadas en diferentes condiciones, con obstáculos y en línea de vista. Estas pruebas se llevaron a cabo sin los caudalímetros dentro del edificio, específicamente en el segundo piso del ala sur, para poder movilizar los dispositivos de una manera más ágil y así realizar las pruebas modificando los parámetros antes mencionados.

A continuación, se detallará el contenido de las imágenes que se obtuvo gracias al software XCTU para su posterior análisis.

Se obtuvieron dos gráficas por cada prueba realizada, de donde la primera muestra la tasa de transferencia, medida en kilobytes por segundo (ver figura 3.1), de manera numérica se especifica la velocidad de datos promedio y el valor instantáneo máximo alcanzado durante los 60 segundos que duró cada prueba. La figura 3.2, muestra la segunda gráfica obtenida del indicador de fuerza de la señal (RSSI) como, el porcentaje de datos recibidos vs los enviados a través del tiempo y la otra la potencia instantánea en cada segundo transcurrido. En la parte inferior se encuentran dos datos de potencias llamadas local y remota, la primera es la potencia recibida en el dispositivo que tenemos conectado directamente al computador con el cual estamos realizando las mediciones, la potencia remota,

la segunda es la potencia del dispositivo que solo está conectado a la red de manera inalámbrica. A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada escenario.

Pruebas con línea de vista a 5 metros.

Como se muestra en la figura 3.1 que la transmisión de datos a esta distancia es óptima ya que, la cantidad de bits máxima transmitidos por segundo por el sistema diseñado es 1,925 Kbps, mientras que la obtenida en las pruebas, es en promedio 3,71 Kbps, así mismo la potencia de la señal recibida (RSSI) en el dispositivo local, es en promedio -60 dBm con la cual se asegura una conexión estable.

En la figura 3.2, se puede observar que, de todos los paquetes enviados, no se perdió ningún paquete, sin embargo, hay un 2% de los paquetes que no fueron enviados al dispositivo final, siendo este porcentaje muy bajo y excelente para la implementación del sistema. La gráfica también muestra picos que llegan hasta los -20 dBm, esto se debe a los multicaminos que puede tomar una onda para llegar a su destino, ya que no siempre el camino más corto es por el que se llegará al receptor con mayor potencia.

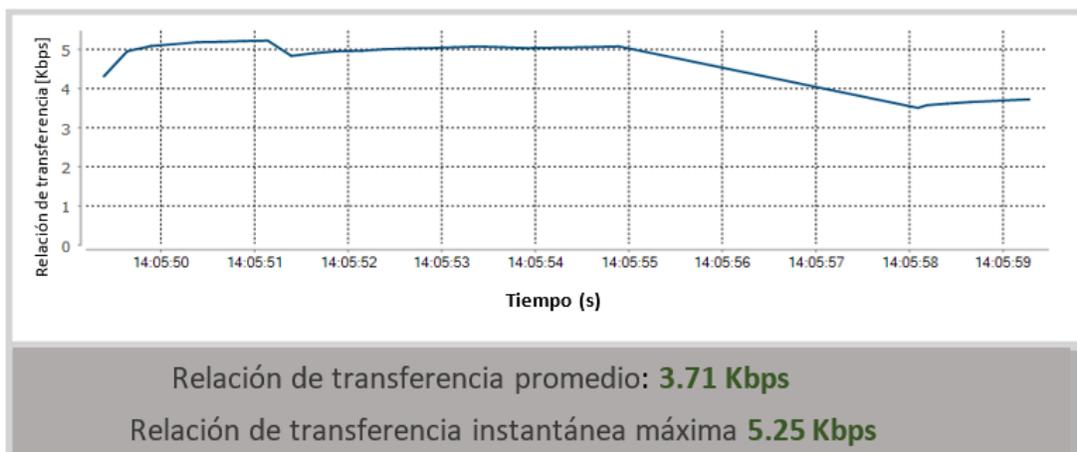


Figura 3.1 Tasa de bits 5 metros con línea de vista.

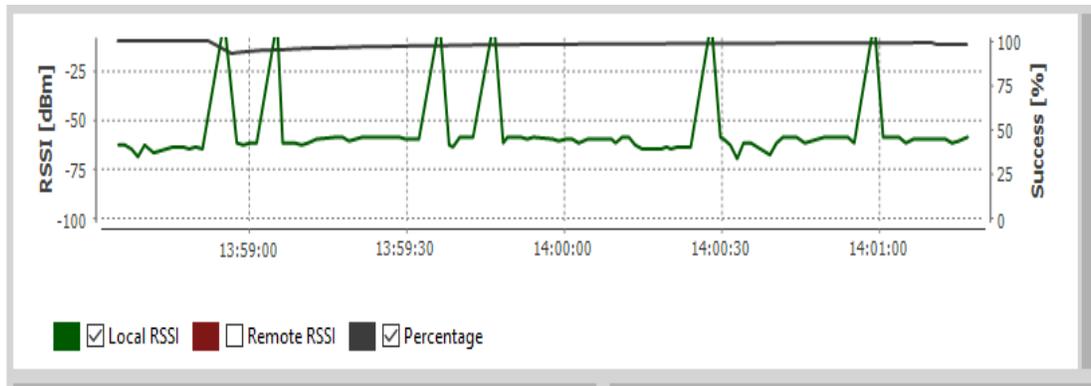


Figura 3.2 RSSI a 5 metros con línea de vista.

Pruebas con línea de vista a 10 metros.

En la figura 3.3 se puede observar que la tasa de transmisión de datos a una distancia de 10 metros no ha variado significativamente con respecto a las pruebas realizadas a una distancia de 5 metros, esto se debe a que ambas pruebas siguen teniendo línea de vista. Sin embargo, se puede apreciar una caída de 10[dBm] de potencia, obteniendo esta vez un 2% más de errores en el transmisor que en el caso anterior. Es importante mencionar que, aunque la gráfica 3.3 muestra una caída en la velocidad de transmisión, no significa que sea una mala señal, ya que, en promedio la tasa sigue siendo 3.83[Kbps], estas caídas de velocidad siguen estando dentro de un rango óptimo para el sistema propuesto. La atenuación en la potencia de la señal se debe a que las ondas electromagnéticas que viajan en el espacio libre son muy dependientes del entorno en donde se encuentran, por lo que al mínimo cambio del lugar en donde se propaga la onda, perturba los resultados, por esta razón los datos obtenidos solo pueden estimar la probabilidad de la disponibilidad de la red a la tasa de datos promedio obtenida, más no asegurar que en todo momento se tendrá la máxima cobertura.

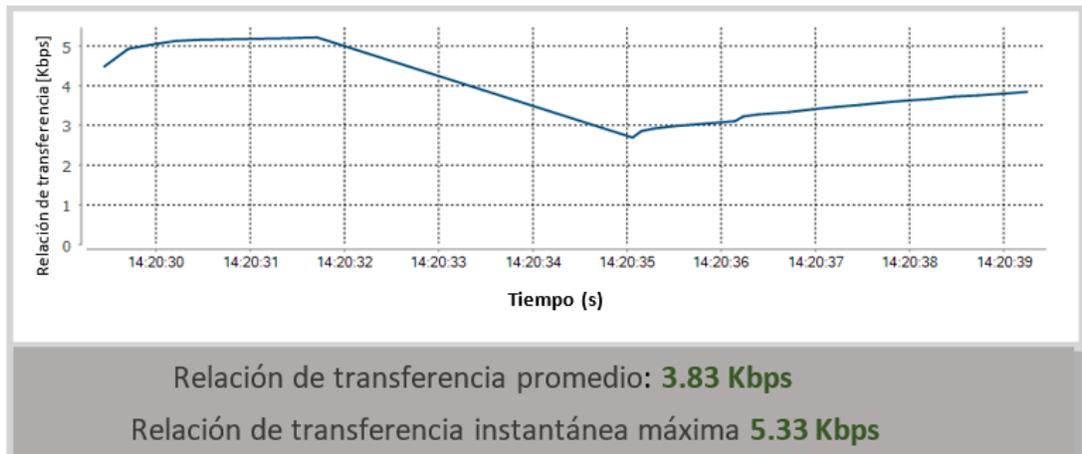


Figura 3.3 Tasa de bits a 10 metros con línea de vista.

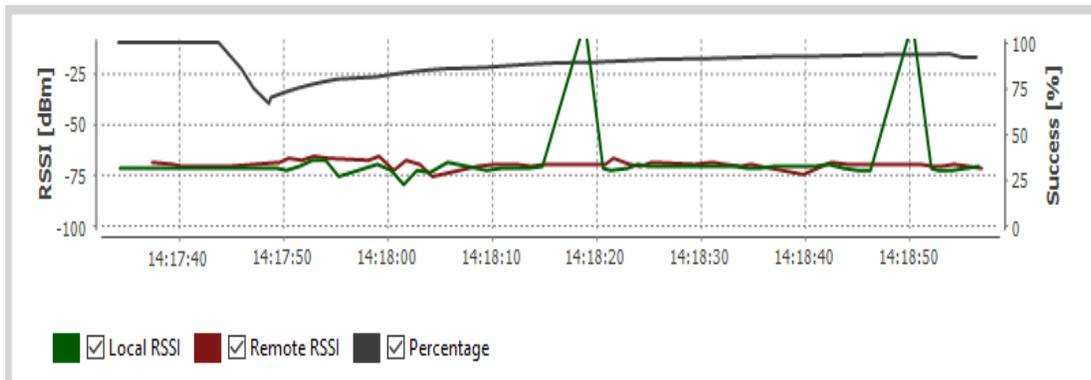


Figura 3.4 RSSI a 10 metros con línea de vista.

Pruebas con línea de vista a 20 metros.

Los resultados de esta prueba se muestran en la figura 3.6 donde se evidencia una disminución considerable de las potencia local y remota, esto es debido a que estas pruebas fueron realizadas a una distancia menor a los 30 centímetros de una pared por la disponibilidad de espacio para la misma, en estas el nivel de potencia recibido fue de $-82[\text{dBm}]$ por lo que se llegó a perder casi un 25% de paquetes, lo que aún se considera aceptable para el sistema desarrollado, debido a que el dispositivo transmisor acumula los datos actualizando el último adquirido hasta enviarlos al coordinador, por lo que no se pierden los datos, solo se retrasan y llegarán con menos frecuencia. Además, en la figura 3.5 se observa

una caída brusca de la velocidad, siendo su valor máximo 5.26[Kbps] y un mínimo de 1.6[Kbps], sin embargo el promedio es 3.87[Kbps] y es mayor al requerido para la transmisión de paquetes de los medidores inalámbricos.

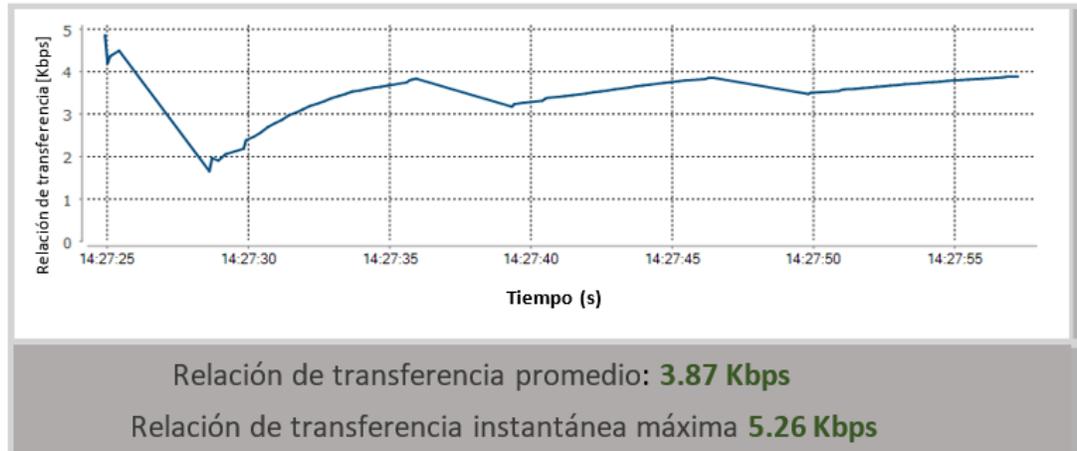


Figura 3.5 Tasa de bits a 20 metros con línea de vista.

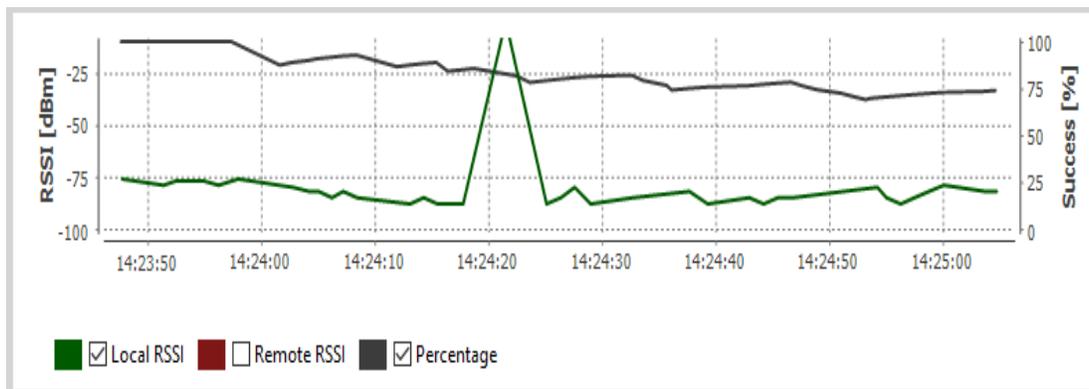


Figura 3.6 RSSI a 20 metros con línea de vista.

Pruebas con línea de vista a 30 metros.

Los resultados de esta última prueba se muestran las figuras 3.7 y 3.8, en las que se evidencian que aun a una distancia de 30 metros sin obstáculos, la potencia de recepción es muy buena, y que la tasa de paquetes recibidos con éxito es del 80%, con lo que podemos considerar que en este escenario el

prototipo aún funciona correctamente ya que está dentro de los parámetros requeridos para el uso del sistema.



Figura 3.7 Tasa de bits a 30 metros con línea de vista.

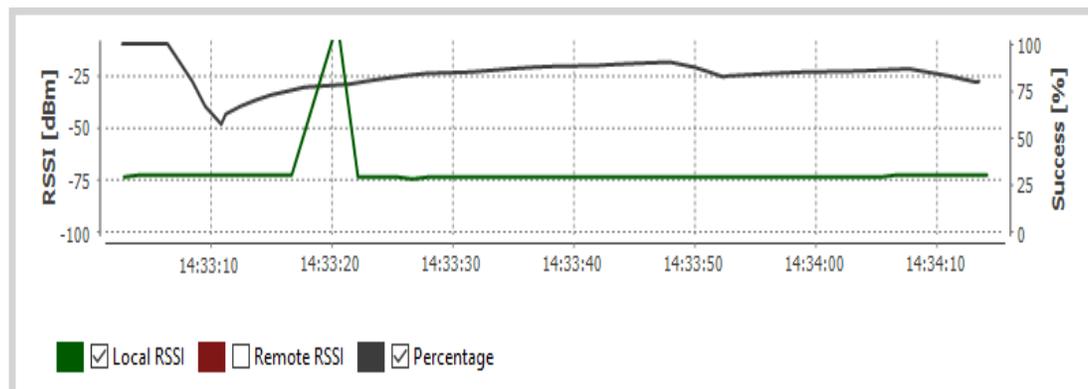


Figura 3.8 RSSI a 30 metros con línea de vista.

Pruebas in situ (habitación 227).

Las pruebas realizadas en este escenario corresponden a la habitación 227, en la cual se encuentra uno de los medidores volumétricos.

En la figura 3.9 se puede observar que la velocidad de transmisión de datos en promedio es de 2.83 Kbps, la cual es mayor a los 1,925 Kbps máximo que se requieren para el correcto funcionamiento del sistema propuesto.

En la figura 3.10 se observa una gran pérdida de datos, alrededor del 50%, esto se debe a que en este escenario las ondas transmitidas tienen que atravesar 6 paredes, reduciendo significativamente la potencia que llega al coordinador, no obstante, con ese porcentaje de errores aún se pueden recibir los datos necesarios para el análisis de estos, aunque con menos frecuencia.

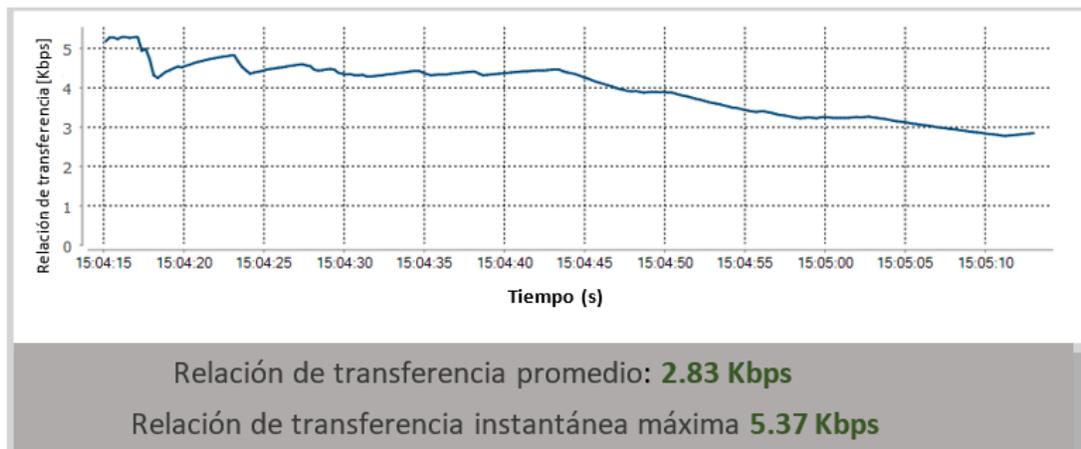


Figura 3.9 Tasa de bits a 17.5 metros con 6 paredes de por medio

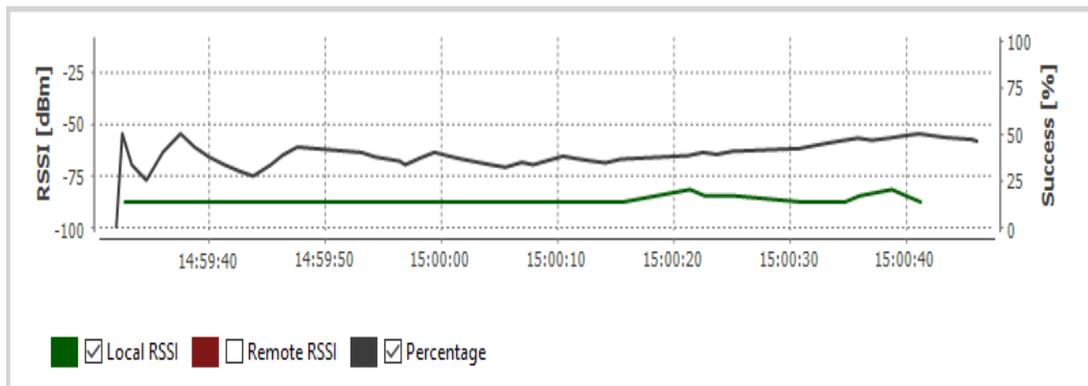


Figura 3.10 RSSI a 17.5 metros con 6 paredes de por medio.

Pruebas in situ (habitación 221).

Como se mencionó en la sección 3.1, uno de los lugares en donde se implementará el prototipo, es en la habitación 221, en el segundo piso, por lo que

en este punto se realizaron también las mismas pruebas de RSSI y velocidad de transmisión de datos.

Se puede verificar que, en este escenario la velocidad de transmisión es casi constante (5.2 Kbps), como se muestra en la figura 3.11 y la potencia de recepción llega hasta los -75 dBm, por lo cual la pérdida de datos es del 0%, garantizando de esta manera una transmisión de datos ininterrumpida y de alta fiabilidad.

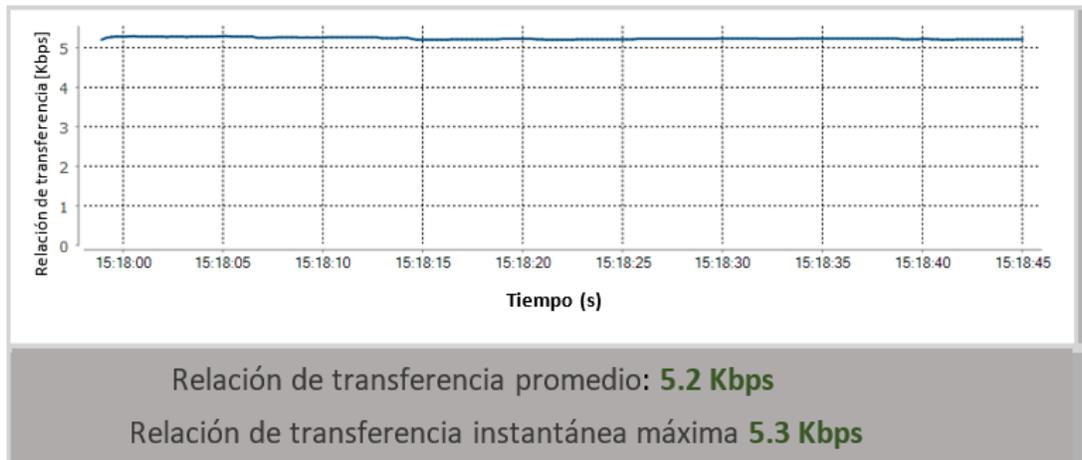


Figura 3.11 Tasa de bits a 11.51 metros con 2 pared de por medio.

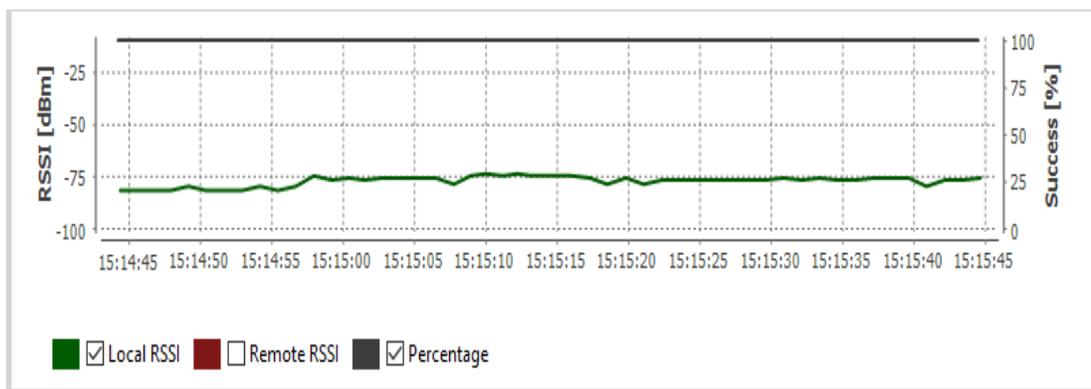


Figura 3.12 RSSI a 11.51 metros con 2 pared de por medio.

Análisis del espectro en 2.4 GHz.

El análisis del espectro en el escenario en donde se requiere instalar los dispositivos es uno de los requisitos fundamentales para escoger de manera óptima el canal con el que se configurarán los equipos para la comunicación inalámbrica.

En la figura 3.13 se ilustra en una gráfica los 16 canales de la frecuencia de 2.4 GHz, con lo cual se obtuvo que el canal con más interferencia es el canal 1, llegando hasta -69 dBm el ruido generado por otros dispositivos. Por otro lado, se puede observar que la potencia más baja es de -84 dBm, la cual corresponde a los canales 7, 8 y 10. Basados en estos datos, el canal configurado en los equipos será el canal 8.

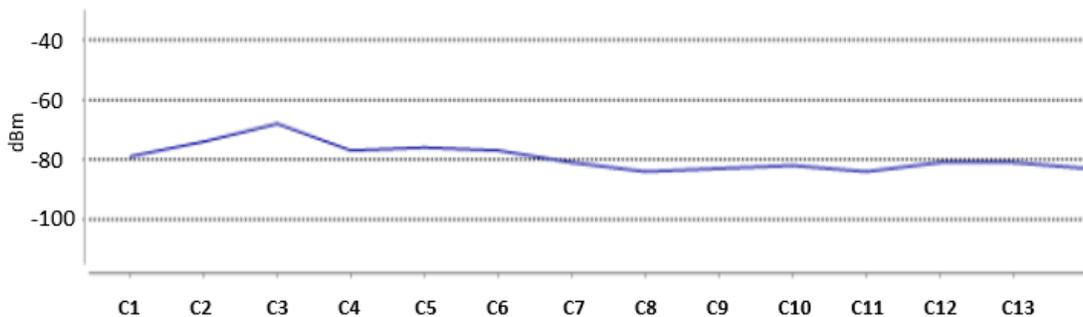


Figura 3.9 Análisis espectral en la banda de 2.4 GHz en situ.

3.3 Interfaz Web.

Para una mejor visualización e interpretación de los datos por parte del usuario, se diseñó una interfaz web con los siguientes dos complementos:

Vue.js es un framework que sirve para mostrar los datos mediante gráficas.

Node.js es el encargado de adquirir los datos mediante el puerto serial, permitir una conexión TCP bilateral y enviar los datos desde el servidor (node.js) hasta el usuario final (vue.js).

Esta interfaz web cuenta con dos pestañas, la primera de ellas muestra la gráfica del flujo del agua vs tiempo, durante un intervalo de 7 segundos como se observa en la figura 3.14. Los datos graficados se obtienen cada 250 ms, graficando los puntos con el caudal instantáneo. En la parte superior central de esta pestaña se muestra el volumen total que ha atravesado por el medidor de agua hasta el momento.



Figura 3.10 Interfaz web – Flujo de Agua.

La siguiente pestaña fue diseñada para realizar un análisis dentro de un intervalo de tiempo más específico, pudiendo escoger, horas y fechas más puntuales. Por ejemplo, en la figura 3.15 se puede observar que la gráfica mostrada es para un intervalo de tiempo de una hora, desde las 14:30, hasta las 15:30 del jueves 10 de febrero del 2019. En la misma pestaña, en la parte superior derecha, se puede apreciar el volumen total acumulado dentro del periodo de tiempo especificado.

Dado que las cantidades volumétricas contabilizadas en intervalos de tiempo menores a una hora son muy grandes para ser mostradas en una gráfica y apreciar el cambio, se decidió mostrar el volumen en mililitros, mientras que, el volumen acumulado se visualiza de mejor manera en litros.



Figura 3.11 Interfaz web – Análisis del volumen de agua por intervalos de tiempo.

3.4 Precisión de los datos adquiridos.

Con el fin de determinar la precisión del sistema, se tomó un envase con capacidad máxima de 1 galón y a diferentes niveles de llenado, se pudo determinar que el sistema tiene un error de aproximadamente el 1,5%.

Basado en estudios realizados previamente en el edificio del hospital León Becerra, se ha calculado que el consumo de agua promedio por día y por cada cama, es de 617 litros [2], al haber 10 camas en el segundo piso, el consumo mensual aproximado del mismo es de 185.100 litros.

En la tabla 3.1 se puede observar el formato de facturación de la empresa de agua potable de Guayaquil (Interagua), si usamos los datos anteriores del consumo mensual aproximado de dicho piso, tendríamos un gasto de \$152,84, y asumiendo el error del dispositivo de 1,5 % tendríamos un equivalente de \$0.23 lo cual es aceptable para el sistema propuesto.

Tabla 3.1 Sistema de facturación de Interagua.

Agua potable		Cargo fijo		CEM
Rango de consumo m3	Valor por m3	Diámetro	Valor	Valor
0-15	\$ 0.322	1/2"	\$1.26	0.27
16-30	\$ 0.477	3/4"	\$8.41	0.62
31-60	\$ 0.675	1"	\$21.63	1.65
61-100	\$ 0.888	1 1/2"	\$36.04	2.61
101-300	\$ 1.001	2"	\$36.04	8.92
301-2500	\$ 1.604	3"	\$60.08	16.47
2501-5000	\$ 2.085	4"	\$180.21	54.2
5001 o más	\$ 3.487	6" o más	\$240.28	219.54

3.5 Costos de implementación.

Uno de los factores más importante para la decisión de implementar de nuevas tecnologías, es el costo, por lo que a continuación se detalla el precio unitario de los elementos que conforman al transmisor y el receptor.

En la tabla 3.2 se muestran los costos de los dispositivos necesarios para la implementación de un ZED y un ZC respectivamente, de los cuales, si se requiere un mayor alcance de transmisión o menor sensibilidad de recepción, bastará con reemplazar el módulo XBee S1 por uno de mayor alcance. En la tabla 3.3 se muestran los precios de algunos de estos dispositivos con mejores características.

Tabla 3.2 Costos del dispositivo ZigBee.

Elementos	Costos	ZED	ZC
Cables Jumper	\$0.50	X	X
Módulo Arduino Uno	\$22.00	X	X
Shield Arduino - XBee	\$9.99	X	X
Módulo XBee S1	\$26.95	X	X
Sensor de flujo de Agua	\$8.50	X	
TOTAL		\$67.94	59,44

Tabla 3.3 Costos de los diferentes módulos XBee.

Elementos	Alcance[m]	Costos
XBee 1 mW	100	\$26.95
XBee 2 mW	120	\$26.95
Xbee Pro 50 mW RSMA	1600	\$39.45
Xbee Pro 60 mW S1	10000	\$50.55
Xbee Pro 900 XSC	24000	\$79.41

Dado que, entre los medidores del comedor y la terraza, se encuentran varios obstáculos que reducen considerablemente la potencia de recepción, se recomienda usar el dispositivo Xbee Pro 50 mW RSMA. Con lo cual, se establece que los costos totales de los equipos necesarios en este proyecto son de \$356,20.

A continuación, en la tabla 3.4, se describen los dispositivos necesarios.

Tabla 3.4 Costos totales del proyecto.

Dispositivo	Cantidad	Costo	Total
ZC	1	\$ 9.44	\$ 59.44
ZED (XBee S1)	2	\$ 67.94	\$ 135.88
ZED (XBee Pro 50 mW)	2	\$ 80.44	\$ 160.88
Total			\$ 356.20

Una vez instalados los dispositivos, se estima que en el primer año disminuirá el gasto de agua en un 10% aproximadamente ya que, conociendo en qué lugares es mayor, se tomará medidas correctivas y sustitutivas para el mejor uso del servicio básico.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.

Se determinó que el modelo propuesto, mediante la tecnología ZigBee basado en el estándar IEEE 802.15.4 para el seguimiento del consumo en tiempo real de agua potable en puntos estratégicos del Hospital León Becerra es estable, eficiente y de baja complejidad para la lectura de datos adquiridos.

Las pruebas realizadas con obstáculos y en línea de vista, demuestran que dos de los puntos de donde se tomarán los datos necesarios, son ideales para una buena comunicación, llegando a costar el prototipo de un ZC menos de \$60 y un ZED, casi \$68.

Existen herramientas desarrolladas por los creadores de los módulos XBee, como lo es el software XCTU, con el cual se logró determinar la velocidad de transmisión de datos en dos de los puntos de implementación del sistema, así mismo la potencia de la señal recibida (RSSI), las cuales en dichos puntos era lo suficientemente buena para hacer del sistema propuesto un sistema eficiente y estable.

La solución propuesta fue diseñada para ser escalable de manera sencilla, una de las maneras de hacerlo es colocando más dispositivos finales en puntos donde se requieran, sin mayores dificultades de configuraciones o conexiones de los dispositivos, esto gracias al software XCTU, que mediante su interfaz se debe modificar únicamente el PAN ID, el cual debe ser el mismo que el del resto de los dispositivos y deshabilitar la opción de coordinador, inmediatamente el coordinador ZigBee lo acogerá en su red y comenzará a obtener los datos enviados por el mismo.

4.2 Recomendaciones.

Dado que los puntos en donde se deben realizar las medidas del volumen de agua del primero y último piso resultan inalcanzables para la comunicación con los dispositivos XBee S1, se recomienda reemplazar dicho dispositivo por un modelo XBee de mayor alcance, como por ejemplo el XBee Pro 50 mW RSMA, mismo que se menciona en la tabla 3.3.

Si se requiere enviar directamente la información a la nube, sin necesidad de tener un coordinador, se recomienda añadir a los dispositivos finales un módulo Wi-Fi o GSM, dependiendo de la necesidad. Incluso se puede omitir el servidor conectado al ZC al añadir un módulo Wi-Fi o GSM. Es decir que el sistema es de fácil escalamiento para cualquier necesidad futura.

BIBLIOGRAFÍA

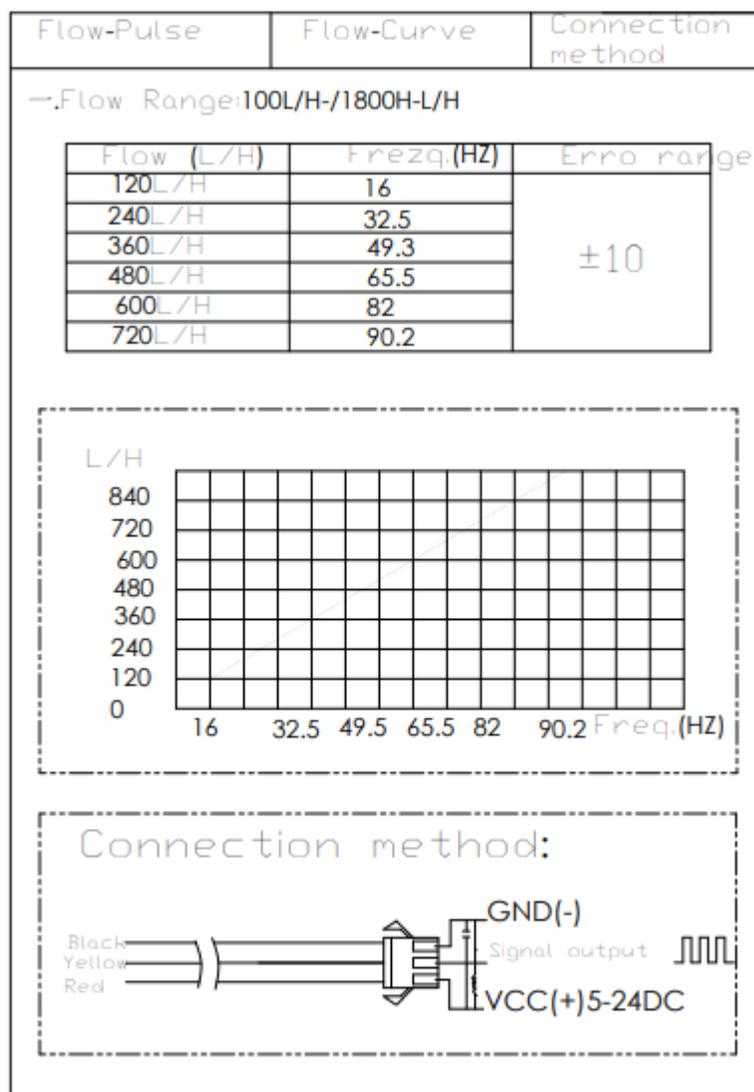
- [1] Alliance Zigbee, «Zigbee,» 23 Mayo 2001.[En línea]. Available: <https://www.zigbee.org/zigbee-products-2/>. [Último acceso: 06 Diciembre 2018].
- [2] J. J. Sabando, «Estudio Consumo de Agua Potable en Pensionados durante febrero a abril,» Guayaquil, 2017.
- [3] R. Gonzáles, N. Dávila y G. Lobalsamo, «Pruebas de Alcance y Coexistencia de IEEE 802.15.4 con Otras Tecnologías IEEE en la Banda de Frecuencia de 2.4 GHz,» de *XXXIII Conferencia Latinoamericana de Informática CLEI 2007*, At San José - Costa Rica, 2007.
- [4] W. Valarezo Troya y A. Criollo Jaramillo «*Diseño y estudio del uso de una red LPWAN» (Low Power Wide Área Network) para la optimización de la medición, comunicación y corrección de errores, en el consumo de agua potable: Caso de estudio en urbanizaciones ubicadas en la periferia de la ciudad de Guayaquil*, 2017.
- [5] J. Martin, 12 Marzo 2016. <https://futurizable.com/iot/>. [Último acceso: 01 Diciembre 2018].
- [6] La Vanguardia, «La Vanguardia,» 12 Agosto 2003.[En línea]. Available: <https://www.lavanguardia.com/tecnologia/innovacion/20131211/54393379829/9-000-millones-objetos-conectados.html>. [Último acceso: 27 11 2018].
- [7] L. Nuaymi, «Technology for broadband», West Sussex: Wiley, 2007.
- [8] F. G. Miguel Cabezas, *Redes Inalámbricas*, Anaya Multimedia, 2010.
- [9] A. P. J. B. O. E. J. A. Pullés, «Redes Inalámbricas para el Monitoreo y Control en tiempo real de Sistemas de Calentamiento de agua con Colectores Solares,» Mayo 2011.[En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/277766210_Redres_Inalambricas_para_el_Monitoreo_y_Control_en_tiempo_real_de_Sistemas_de_Calentamiento_de_agua_con_Colectores_Solares. [Último acceso: 26 Octubre 2018].

- [10] P. Kinney, «Zigbee Technology: Wireless control that simply works,» *Communications design Conference*, nº 12, pp. 1-7, 2003.
- [11] M. Kuzlu, «Assessment of communication technologies and network requirements for different smart grid applications,» *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, pp. 1-6, 2013.
- [12] Q. Zhang, Y. Sun y Z. Cui, «Application and analysis of ZigBee technology for Smart Grid,» *Computer and Information Application*, pp. 171-174, 2010.
- [13] A. Mahmood, N. Javaid y R. Sohail, «A review of wireless communications for smart grid,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 248-260, 2015.
- [14] S. Ali, M. Naeem, A. Mahmood y S. Razzaq, «Methods to Regulate Energy Consumption in Smart Homes,» *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, pp. 166 - 172, 2014.
- [15] J. Cardova, B. Asare-Bediako, G. M. A. Vanalme y W. L. Kling, «Overview and Comparison of Leading Communication Standard Technologies for Smart Home Area Networks Enabling Energy Management Systems,» *Power Engineering Conference (UPEC)*, vol. 46, pp. 1-6, 2011.
- [16] J. Martín Moreno y D. Ruiz Fernández, «Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4),» 2007.
- [17] Universidad de Cádiz, «Innovación Docente,» 23 Agosto 2015.[En línea]. Available: http://www.uca.es/recursos/doc/Unidades/Unidad_Innovacion/Innovacion_Docente/A_NEXOS_2011_2012/22232441_310201212102.pdf. [Último acceso: 15 01 2019].
- [18] DIGI, «DIGI XBEE-PRO XSC,» 2018.[En línea]. Available: https://www.digi.com/pdf/ds_xbeeproxcsc.pdf. [Último acceso: 10 Enero 2019].
- [19] DIGI, *XBee/XBee-PRO S1 802.15.4 (Legacy) USER GUIDE*, 2018.
- [20] Instituto nacional de ciberseguridad de España M.P. SA «Incibe,» 26 Abril 2016.[En línea]. Available: <https://www.incibe-cert.es/blog/seguridad-comunicaciones-zigbee>. [Último acceso: 17 Enero 2019].

- [21] D. Campos Velázquez, *Cobertura dentro de construcciones para comunicaciones personales móviles vía satélite*, Cholula, Puebla, México, 2004.
- [22] Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Cálculo de la atenuación en el espacio libre,» Sector de Radiocomunicaciones de la UIT, 2016.
- [23] J. L. Camargo Olivares, «Modelo de cobertura para redes inalámbricas de interiores,» Sevilla, 2009, p. 320.
- [24] Octopart, «Octopart.com,»[En línea]. Available: <https://datasheet.octopart.com/A000066-Arduino-datasheet-38879526.pdf>. [Último acceso: 3 2 2019].
- [25] MCI Electronics, *Guía de usuario XBee Series 1*, Chile, 2008.
- [26] Interagua, «Interagua,» 2 Febrero 2018.[En línea]. Available: <https://www.interagua.com.ec/preguntas-frecuentes>.
- [27] YIFA the plastic ltd, «Datasheet YF-S201,»[En línea]. Available: <https://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/sensors/YF-S201.pdf>. [Último acceso: 02 2 2019].

Anexos

A. Hoja de especificaciones del caudalímetro YF-S201



YIFA the plastics Ltd Product Introduction

1. Model: YF-21
2. Product Name: Hall sensor
3. Flow Range: 1-30L/MIN
4. (1) Connection Method



(2) Voltage Range 3.5-24VDC, Pulse Characteristic: $F=7Q(L/MIN)$

(3) Extent of error: $\pm 5\%$.

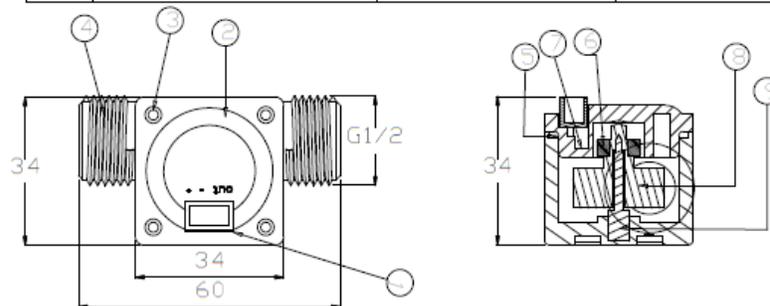
(4) Flow-Pulse

2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ

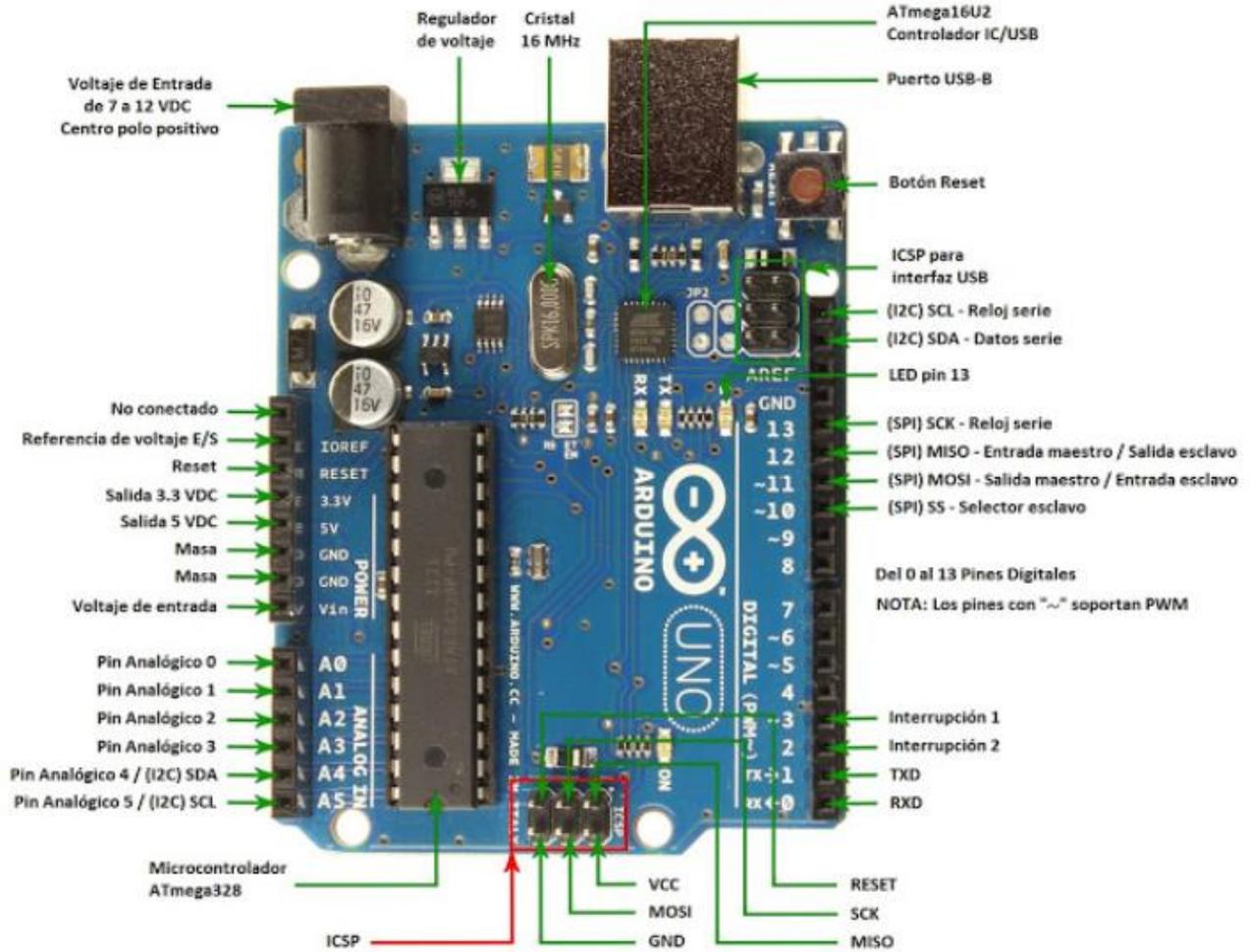
8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

5. Bom

No.	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			



B. Hoja de especificaciones del Arduino UNO R3



Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7 – 12V
Voltaje de entrada (Límite)	6 – 20V
Pines para entrada- salida digital.	14 (6 pueden usarse como salida de PWM)
Pines de entrada analógica.	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB ocupados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

C. Hoja de especificaciones de XBee (Series 1)

Detalles	XBee 802.15.4 (Series 1)
Funciones	
Tasa de datos	254 Kbps
Rango recinto interior	30 m
Rango línea de visión	100 m
Potencia de Transmisión	1 mW (+0 dBm)
Sensibilidad del receptor (1% PER⁹)	-92 dBm
Características	
Interfaz de Datos Serial	3.3V CMOS UART
Métodos de Configuración	Comandos AT o API, local o sobre el aire.
Banda de frecuencia	2.4 GHz
Inmunidad a la interferencia	DSSS (Direct Sequence Spread Spread Spectrum)
Tasa de Comunicación Serial	1200 bps a 250 Kbps
Conversores ADC	Conversores de 10 bit (hasta 7 disponibles). ⁹
I/O Digitales	Hasta 8 disponibles.
PWM (Pulse Width Modulation)	Hasta 2 disponibles.
Opciones de Antena	Chip, Wire Chip, U.FL y RPSMA.
Redes y Seguridad.	
Encriptación	128 bits
Entrega confiable de paquetes.	Retries/Acknowledgments (Reintentos/ aviso de recibo de paquetes)
ID's y canales.	PAN ID (personal Area Network), 64-bit IEEE MAC, 16 canales.
Requerimientos de poder	
Voltaje de Alimentación	2.8 a 3.4 Vdc
Corriente al transmitir.	45 mA @ 3.3 Vdc
Corriente al recibir.	50 mA @ 3.3 Vdc
Corriente de apagado.	<10uA @ 25 °C
Regulaciones aprobadas.	
FCC (USA)	OUR-XBee
IC (Canadá)	4214A-XBee
ETSI (Europa)	Si
C-TICK Australia	Si
Telec (Japón)	Si

TOP SIDE

