



# **INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y  
ELÉCTRICA**

**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”  
ZACATENCO**

**“Implementación de una red ZigBee para transmitir signos  
vitales de un paciente”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

**PRESENTAN**

**Carrillo Cadena Adrián  
Loera Reséndiz Ángel Iván  
Reyes Galván Eduardo Martín**

**ASESORES**

**Ing. Fernando Cruz Martínez  
Ing. María Isabel Romero Zúñiga  
M. en C. Pedro Gustavo Magaña del Río**



**CDMX, Junio, 2018**

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"**

**TEMA DE TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN  
DEBERA (N) DESARROLLAR

INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA  
TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL  
C. ADRIAN CARRILLO CADENA  
C. ANGEL IVAN LOERA RESENDIZ  
C. EDUARDO MARTIN REYES GALVAN

**"IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ZIGBEE PARA TRANSMITIR SIGNOS VITALES DE UN PACIENTE"**

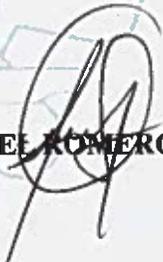
IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN DE SIGNOS VITALES Y QUE LA INFORMACIÓN OBTENIDA SE ENVÍE POR MEDIO DE TECNOLOGÍA ZIGBEE A UN PUNTO REMOTO.

- ❖ REDES
- ❖ MICROCONTROLADORES
- ❖ METROLOGÍA DE PULSO CARDIACO
- ❖ DESARROLLO

CIUDAD DE MÉXICO, A 07 DE JUNIO DEL 2018.

**ASESORES**

  
ING. FERNANDO CRUZ MARTÍNEZ

  
ING. MARÍA ISABEL ROMERO ZÚÑIGA

  
ING. PEDRO GUSTAVO MAGAÑA DEL RÍO

  
DEPARTAMENTO  
DR. SALVADOR RICARDO MENESES GONZÁLEZ  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE  
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

## Autorización de uso de obra

**Instituto Politécnico Nacional**  
**P r e s e n t e**

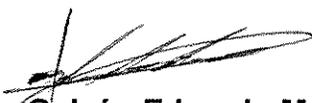
Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **Carrillo Cadena Adrián, Loera Reséndiz Ángel Iván y Reyes Galván Eduardo Martin**, manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **"Implementación de una red ZigBee para transmitir signos vitales de un paciente"**, en adelante **"La Tesis"** y de la cual se adjunta copia, un impreso y un cd, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos al **Instituto Politécnico Nacional**, en adelante **El IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o en cualquier otro medio; **para apoyar futuros trabajos relacionados con el tema de "La Tesis"** por un tiempo de **2 años** contando a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovara automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **El IPN** de su terminación.

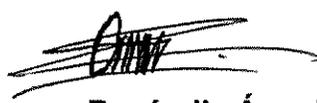
En virtud de lo anterior, **El IPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de **"La Tesis"**.

Adicionalmente, y en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de **"La Tesis"**, manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de **"La Tesis"**, por lo que deslindamos de toda responsabilidad a **El IPN** en caso de que el contenido de **"La Tesis"** o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso

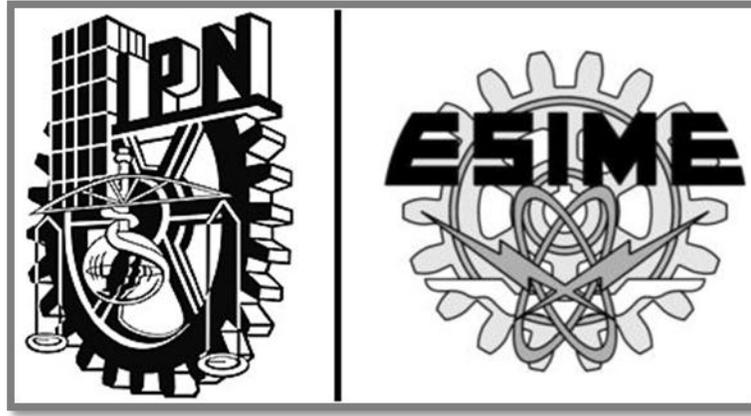
Ciudad de México., a 16 de Octubre de 2018.

Atentamente

  
Reyes Galván Eduardo Martin

  
Loera Reséndiz Ángel Iván

  
Carrillo Cadena Adrián



**“Implementación de  
una red Zigbee para  
transmitir signos  
vitales de un  
paciente”**

## OBJETIVO

**“Implementar un sistema de supervisión de signos vitales y que la información obtenida se envíe por medio de tecnología Zigbee a un punto remoto.”**

# Índice

## INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

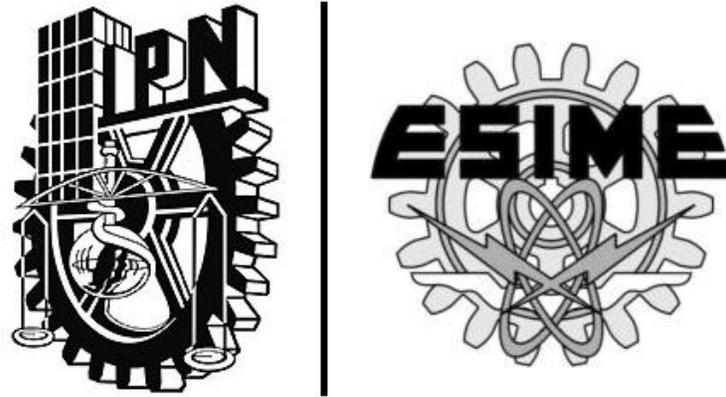
<b>Capitulo 1 REDES.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Uso de las redes.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Tipos de redes.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1 Redes LAN.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.2 Redes MAN.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.3 Redes WAN.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.4 Redes WLAN.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.5 Redes de Sensores.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.6 Redes PAN.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.7 Redes BAN.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3 Zigbee.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3.1 IEEE 802.15.4 y ZigBee.....</b>	<b>20</b>
<b>1.3.2 Frecuencia de operación y tasa de transferencia de los datos del estandar zigbee.....</b>	<b>22</b>
<b>1.3.3 Dispositivos de una red ZigBee.....</b>	<b>24</b>
<b>1.3.4 Roles y tareas de los dispositivos en un red ZigBee.....</b>	<b>25</b>
<b>1.3.5 Topología de una red ZigBee.....</b>	<b>25</b>
<b>1.3.6 Capas del protocolo.....</b>	<b>26</b>
<b>1.3.6.1 Capa física PHY.....</b>	<b>26</b>
<b>1.3.6.2 Capa de control de acceso al medio MAC.....</b>	<b>27</b>
<b>1.3.6.3 Capa de red.....</b>	<b>29</b>

---

<b>Capitulo 2 MICROCONTROLADORES.....</b>	<b>30</b>
2.1 Arquitectura Von Neuman.....	32
2.2 Arquitectura Harvard.....	33
2.3 Microcontrolador MSP430.....	34
2.3.1 Características.....	34
2.3.2 Arquitectura MSP430.....	35
2.3.3 Identificación de los dispositivos.....	38
2.4 Arduino.....	39
2.5 Comparación entre arduino y launchpad.....	40
<b>Capitulo 3 METROLOGÍA DE PULSO CARDIACO.....</b>	<b>42</b>
3.1 Sistema circulatorio.....	43
3.1.1 Corazón.....	43
3.1.2 Sangre.....	44
3.1.2.1 Componentes de la sangre.....	45
3.1.2.2 Vasos sanguíneos.....	45
3.1.2.3 Movimientos del corazón.....	45
3.2 Saturación de oxígeno.....	46
3.2.1 Pulsioxímetro.....	47
<b>Capitulo 4 DESARROLLO.....</b>	<b>51</b>
4.1 Sensor.....	53
4.1.1 Filtrado de la señal.....	56
4.2 Procesamiento de la señal con el microcontrolador.....	57

---

4.3 Comunicación entre Launchpad TI y módulo Xbee...	58
4.3.1 Módulo XBee.....	59
4.3.1.1 XBee ZigBee .....	59
4.3.2 Comunicación serial y puerto UART.....	60
4.3.3 Comunicación serial entre microcontrolador y módulo Xbee.....	60
4.4 Configuración ZigBee.....	62
4.5 Envío y recepción de la información entre módulos XBee.....	65
4.6 Recuperación e Interpretación de la información.....	67
4.7 Pruebas.....	72
4.7.1 Prueba de funcionamiento.....	72
4.7.2 Pruebas de rango.....	74
4.7.2.1 Prueba de rango a línea de vista.....	74
4.7.2.2 Prueba de rango en interior.....	78
4.7.2.3 Comparación de comportamiento.....	81
4.8 Interferencia y coexistencia con equipo médico.....	84
Conclusiones.....	86
Índice de figuras.....	89
Índice de tablas.....	91
Acrónimos.....	92
Bibliografía.....	94
Referencias.....	96
Anexos.....	100



# INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCION

El servicio de urgencias es parte fundamental en una institución de salud, la cual debe proporcionar una amplia disponibilidad para brindar atención inmediata y oportuna, ya que en ocasiones la vida de los pacientes se encuentra en peligro.

La necesidad de los servicios de urgencias médicas es causada por diversos factores y solicitantes. De acuerdo a estadísticas se sabe que, del total de las consultas, más de la mitad son requeridas por mujeres adultas y adultas mayores, en un menor número se encuentra la población entre 20 y 59 años sin importar género y por debajo de estos niños de 0 a 9 años.

Es por esto que uno de los retos más grandes que enfrenta el sistema nacional y las instituciones de salud es abastecer y mejorar el servicio en las salas de urgencias, donde el tiempo y los equipos juegan un papel fundamental en el tratamiento y recuperación de los pacientes.

Con la intención de crear herramientas que apoyen al personal de hospitales en la prevención y supervisión de los pacientes, ha sido necesario desarrollar equipos basados en tecnologías emergentes, los cuales facilitarán y propondrán un nuevo y mejor panorama ante las adversidades que se presentan día con día en el tratamiento de enfermedades y recuperación en situaciones que amenacen con la salud y la vida de las personas.

La comunicación inalámbrica nos da la posibilidad de solventar esos problemas a través de una tecnología que, acompañada de los dispositivos electrónicos y el software necesario, traen el desarrollo de una herramienta muy útil para los percances que se viven en el intento de ofrecer mejores servicios de salud para la población; la creación de una red ZigBee, que por sus características de duración, costo y confiabilidad la hacen por demás adecuada para su aplicación



# ANTECEDENTES

## ANTECEDENTES

En el año 2014, a lo largo del territorio nacional, el servicio de urgencias atendió 35,924,068 casos. Si se compara esta cifra con la densidad de población nacional que era de 119.5 millones de habitantes, da como resultado que aproximadamente una tercera parte de la población fue beneficiaria de estos servicios.

Ahora, al tomar como referencia al IMSS donde a partir de los números consultados en fuentes de información que el mismo instituto emite, se denota que el servicio de urgencias en el año 2004 atendió 15,531,355 casos de los cuales se registró una tasa de mortalidad del 21.5%.

Es importante resaltar que para un número de 1043 consultorios existían 2623 médicos disponibles que otorgaron alrededor de 15 mil consultas de urgencias que se pueden visualizar como 42 435 consultas diarias, por lo tanto 40 por consultorio. Esta información proviene de 352 unidades de medicina familiar que cuentan con los servicios de urgencias, y de los hospitales con los mismos.

De acuerdo a las cifras obtenidas y analizadas se observa un panorama crítico para la atención del alto índice de urgencias médicas, si se relaciona con el número de personal disponible para cubrir éstas necesidades. Por tales motivos surge la necesidad de generar una estrategia capaz de solucionar la problemática que se vive en una sala de urgencias.

Actualmente el servicio de monitoreo que recibe un paciente durante su estancia en una sala de urgencias se basa en un sistema denominado TRIAGE, que es efectuado normalmente por enfermeras, el TRIAGE consiste en ubicar en niveles de riesgo o urgencia a los pacientes en función de las mediciones de los signos vitales del paciente en cuestión como la presión arterial, saturación de oxígeno, frecuencia cardiaca entre otros de forma manual, esto con el fin de otorgar servicio médico de

manera prioritaria los pacientes que se encuentren en un estado más graves que otros para evitar en lo posible situaciones desastrosas.

A primera vista este sistema parece funcionar de manera correcta, sin embargo, al momento de llevarlo a cabo no funciona como es esperado, como se expuso anteriormente la cantidad de personal no es suficiente para dar abasto a la gran demanda que sufre el servicio de urgencias y puede ser un factor por el cuál se observa tantos casos de defunción en dichos servicios.

El avance tecnológico en materia de las comunicaciones inalámbricas brinda una herramienta adecuada para enfrentar el problema. Ya que pueden ser utilizado para la supervisión de signos vitales de forma automática, en contraste de con la actual forma manual de realizarla.



# CAPÍTULO 1 |

## “REDES”

## REDES

Una red es un conjunto de dispositivos que normalmente se les conoce como nodos que se encuentran conectados a través de un medio físico. Los dispositivos ó nodos son cualquier clase de dispositivo que sea capaz de enviar y recibir información procedente de otros nodos, el ejemplo más popular es la computadora. Normalmente en el enlace que conecta a los nodos es llamado canal de comunicación. Puede verse también como la configuración de equipamiento y facilidades para proveer el servicio de transferencia y distribución de información entre los nodos. Una red de telecomunicaciones se conforma de sistemas de transmisión, equipos de conmutación y recursos, que en conjunto permiten la transmisión de información en los puntos de terminación.

De manera implícita se observa que el objetivo de una red es proveer el servicio de comunicación a los usuarios que se conectan a ella. Gracias a la combinación de distintas tecnologías es posible que las redes ofrezcan servicio de voz, datos y video. Una red puede ser tan simple como la que es formada entre una computadora y sus periféricos, o puede llegar a ser tan compleja que debe incluirse en ella una gran variedad de dispositivos para lograr la comunicación entre los dispositivos finales.

### 1.1 Uso de las redes

Las redes brindan amplias posibilidades y beneficios en la compartición de información y distintos recursos. Grandes cantidades de información pueden ser intercambiadas utilizando el software necesario (programas, bases de datos) poniéndola para su uso ó actualización. Utiliza protocolos para enviar y recibir mensajes en la misma red o en redes diferentes. Permiten controlar la información que es usada y también darle seguridad.

Compartir dispositivos periféricos y más dispositivos de salida que pueden llegar a ser muy costosos y así reducir los mismos es otra de las necesidades primordiales en la creación de una red.

## 1.2 Tipos de redes

Se pueden clasificar las redes por distintos criterios; tamaño, topología, forma de conexión, la tecnología que utiliza.

### 1.2.1 Redes de área local (LAN)

Una LAN conecta varios dispositivos de red en un área de corta distancia (decenas de metros) delimitadas únicamente por la distancia de propagación del medio de transmisión [coaxial (hasta 500 metros), par trenzado (hasta 90 metros) o fibra óptica [decenas de metros], espectro disperso o infrarrojo [decenas de metros]].

Una LAN podría estar delimitada también por el espacio en un edificio, un salón, una oficina, hogar, etc., pero a su vez podría haber varias LAN's en estos mismos espacios. En redes basadas en IP, se puede concebir una LAN como una subred tal como se ilustra en la figura 1.1, pero esto no es necesariamente cierto en la práctica. Las LAN comúnmente utilizan las tecnologías Ethernet, Token Ring, FDDI (Fiber Distributed Data Interface) para conectividad[9].

Regularmente las características que poseen las LAN's son:

- Velocidad de trasmisión elevada
- Tasa de error despreciable
- Su gestión es responsabilidad del propietario
- Región geográfica pequeña

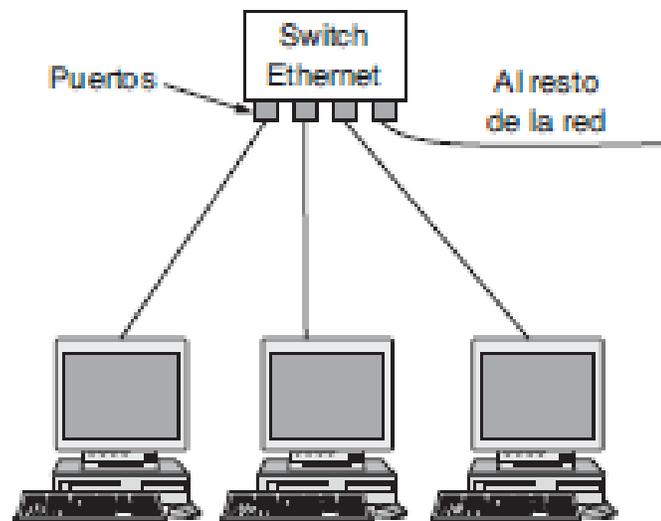


Figura 1.1 Red LAN [2].

### 1.2.2 Redes de área metropolitana (MAN)

Una red de área metropolitana ó MAN es aquella red que cubre el área de una ciudad completa o una zona suburbana, regularmente pueden estar constituida de más de una LAN ubicadas en un área común y que muy comúnmente necesitan un proveedor de servicios para conectarse.

Una red MAN ofrece una conexión de alta velocidad para compartir datos, voz y video, esta puede ser mediante canales de cables de cobre o fibra óptica.

Las aplicaciones más comunes para una red MAN son la interconexión de oficinas dispersas en una ciudad pero que pertenecen a la misma corporación, sistema de video vigilancia o inclusive servicios de VoIP. Se debe mencionar que las ventajas que presentan las redes MAN en comparación de una red WAN es que las redes MAN ofrecen menor costo de mantenimiento, mayor seguridad y protección de datos y ancho de banda mayor, sin embargo no superan los 50 Km de cobertura[9].

En la actualidad se ha desarrollado una nueva red MAN llamada WiMAX que provee acceso inalámbrico de alta velocidad.

### 1.2.3 Redes de área amplia (WAN)

Las redes de área amplia son redes que abarcan áreas geográficas muy extensas, como por ejemplo un país. Las WAN interconectan a las LAN, o sea que conecta las redes de usuarios para que estos puedan comunicarse a grandes distancias.

Las WAN's cuentan con dos grupos de elementos importantes, los hosts y la subred de comunicación que es la encargada de interconectar a estos, la subred está compuesta por las líneas de transmisión que es por donde la información viaja y los elementos de conmutación que son computadoras especiales para conectar varias líneas de transmisión. La diferencia entre una LAN muy extensa y una WAN es que esta última los hosts y las subredes tienen diferentes propietarios, así que se ve a una red WAN como una red tal que está compuesta por más de una red, esta idea se ilustra en la figura 1.2 que muestra una red WAN que abarca prácticamente un país con el objetivo que interconectar redes más pequeñas[4].

Una red WAN usa tecnologías como módems, línea de suscripción digital (DSL), jerarquía digital síncrona (SDH), entre otras.

Debido a que la mayoría de los usuarios no es capaz de mantener e instalar una red WAN, renta una infraestructura ya instalada de algún proveedor, es por eso que nacen las VPN o sea una red privada virtual que provee al cliente de un espacio dedicado en una red pública evitando la instalación de una infraestructura costosa, por lo que una VPN puede ser considerada como una MAN, existen otro tipo de redes WAN, como la red satelital y la red celular compuesta por células de cobertura análogas al concepto de LAN, estas últimos dos ejemplos son redes WAN que implementan tecnología inalámbrica[2].

Finalmente, las características principales para una WAN son:

- Canal de comunicación perteneciente al usuario
- Propensa a errores
- Región geográfica extensa

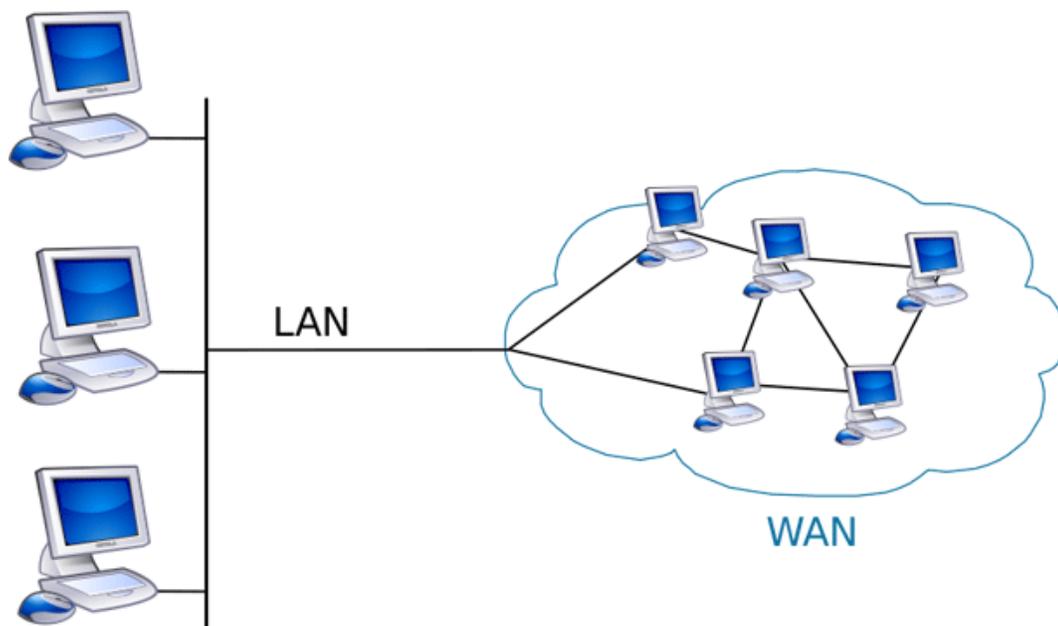


Figura 1.2 Red WAN [6].

### 1.2.4 Redes inalámbricas de área local (WLAN)

Una LAN inalámbrica o por sus siglas en inglés WLAN, es una red de área local que usa tecnología de radio digital y transmisión infrarroja, con esto logra eliminar la mayoría de los cables, establece la conectividad en la red, simplifica la instalación y aumenta la movilidad de los equipos.

Una WLAN debe superar las dificultades que se presentan dada su naturaleza, como el multitrayecto, la susceptibilidad a la interferencia y el ruido y que el espectro radioeléctrico está limitado y regulado, las WLAN trabajan en las bandas de frecuencia de 915 MHz, 2.4 MHz y 5 GHz la selección de alguna de estas depende de la regulación de cada país. .

La razón más importante para la existencia de las redes WLAN, es la movilidad de los usuarios, en las WLAN los usuarios pueden portar sus computadoras o dispositivos hacia diferentes redes para conectarse con servidores o con otros usuarios. Como consecuencia los dispositivos móviles deben operar con baterías y además de necesitarse el desarrollo de protocolos para el descubrimiento de vecinos o redes locales. El estándar encargo de las especificaciones sobre el enlace de datos y capa física con la que trabajan las redes WLAN esta descrito en IEEE 802.11

### 1.2.5 Redes de sensores

Una red inalámbrica de sensores es una red (posiblemente de bajo tamaño y baja complejidad) constituida de nodos (sensores) que pueden detectar el medio ambiente y a su vez comunicar la información obtenida a través de enlaces inalámbricos.

Los datos se envían ocasionalmente a través de múltiples saltos, a un controlador o monitor que se puede utilizar a nivel local, o son enviados a otras redes a través de una puerta de enlace. Los nodos pueden ser estacionarios o estar en movimiento, además pueden ser conscientes de su ubicación o no[1].

Las redes inalámbricas de sensores son una tecnología de reciente desarrollo, sus principios se dieron en la época de la guerra fría, en la cual Estados Unidos desarrolló extensas redes acústicas para la vigilancia de submarinos, además se desplegaron grandes redes de radares de defensa aérea que cubrían el área de Norteamérica.

Posteriormente, en los inicios de los años 1980, se desarrollaron las redes distribuidas de sensores, las cuales postulaban la existencia de muchos nodos de bajo costo distribuidos espacialmente, diseñados para trabajar de manera colaborativa, pero siendo independientes, esta tecnología tenía el propósito de manejar cómputo distribuido, procesamiento de señales y rastreo.

Esta clase de redes se caracteriza por su facilidad de despliegue y por ser auto configurables, con la capacidad de que cualquier nodo se puede convertir en todo momento en emisor o receptor, ofreciendo servicios de encaminamiento entre nodos sin visión directa, así como registrar datos referentes a los sensores locales de cada nodo. Otra de sus características es su gestión eficiente de la energía, que les permite obtener una alta tasa de autonomía por lo que se hacen plenamente operativas[1].

La topología de las redes inalámbricas de sensores puede variar de una red simple en estrella a una topología de red en malla de salto múltiple (multi hop).



Existen diversas tecnologías tales que implementan las redes PAN de manera inalámbrica las cuales son conocidas bajo el nombre de Wireless PAN o WPAN, este nuevo concepto ofrece la ventaja de una posible movilidad de la red y gracias a eso aumentan el panorama en cuanto a posibles aplicaciones. Estas redes WPAN tienen una tasa de transferencia en el rango de 10 bps hasta 10 Mbps, y algunas de estas tecnologías trabajan en la banda de frecuencia libre de 2.4 GHz y se espera que en el futuro se opere en las bandas de frecuencia libre que se encuentran por arriba de los 5GHz, en la figura 1.4 se muestra cuáles son las bandas libres en diferentes regiones del planeta.

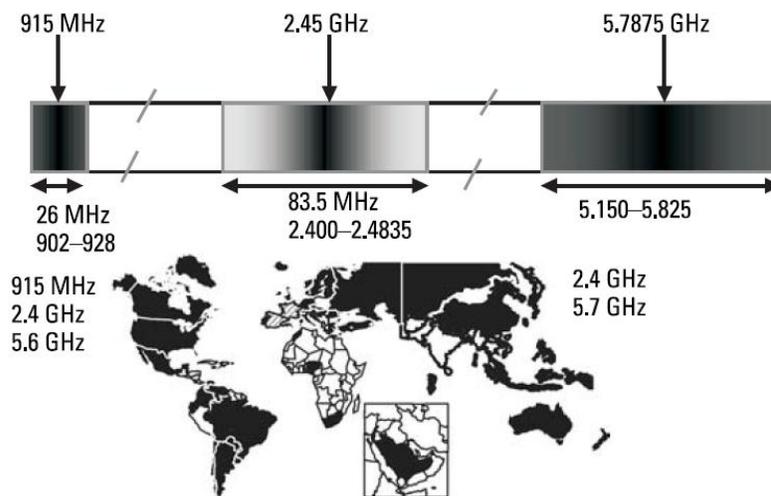


Figura 1.4 Bandas de frecuencias libres por región [7].

Este concepto de redes centradas en el espacio personal fue introducido por primera vez en 1995 por el MIT (Massachusetts Institute of Technology) para crear comunicación entre dispositivos que procesaban información proveniente de señales eléctricas del cuerpo humano, fue a partir de esta idea de la cual se le aplicaron diferentes modificaciones dando como resultado diferentes tipos de tecnología PAN.

Entre ellas incluyen a:

- Oxygen Project (MIT)
- Pico-radio
- Infrared Data Association (IrDA)
- Bluetooth
- Zigbee
- RFID

Existe un grupo de trabajo dentro de la IEEE 802 que se encarga de proporcionar los diferentes estándares y especificaciones para la comunicación de los dispositivos usando las diferentes tecnologías para implementar las redes inalámbricas de área personal el cual es denominado IEEE 802.15 en su sitio web es posible obtener las publicaciones de dichos estándares.

Las redes PAN tienen como deber proveer conectividad entre los dispositivos, una comunicación segura, garantizar la QoS (calidad de servicio) para los usuarios y ser capaz de soportar diferentes aplicaciones con diferentes escenarios incluyendo varios dispositivos. Como se muestra en la figura 1.5 cuando se tienen una red PAN, esta red da la capacidad de comunicación entre los dispositivos que conforman esta red, pero también es posible establecer una comunicación con otras redes externas está puede ser igualmente PAN o redes externas más grandes[7].

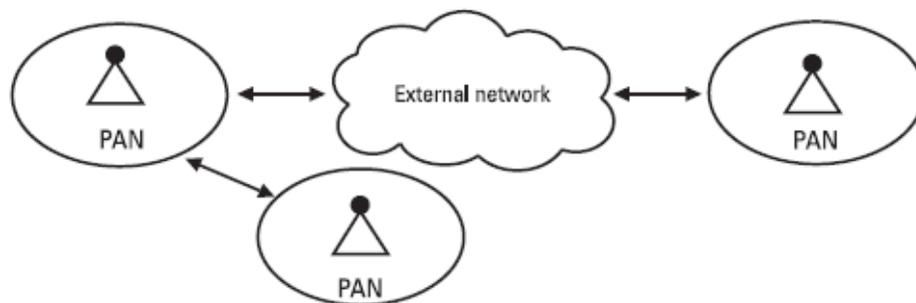


Figura 1.5 Diferentes conexiones posibles de una red PAN [7].

Para este fin se necesita desarrollar una arquitectura de etiquetado donde las etiquetas especifiquen el tipo de conexión. Para las redes PAN independientes el usuario debe ser capaz de ingresar en cualquier dispositivo dentro del área personal independiente de redes que pueden ser circundantes. Por otro lado si se quiere comunicar dos redes PAN diferentes la función de puente tiene que estar incorporada en ambas redes PAN y en último caso cuando se requiere comunicar con el mundo exterior necesarios implementar funciones de Gateway y enrutamiento en la red PAN.

También hay mencionar que importante aspecto dentro redes tipo PAN es la seguridad ya esta debe encargarse de la seguridad en los aspectos de las interfaces aérea, las operaciones del software, el sistema operativo y de los perfiles de los usuarios, se debe implementar tecnología que tengan mecanismos de identidad, anonimidad, seguridad de información e integridad.

En lo que respecta sobre las aplicaciones que tienen las redes PAN básicamente se resume a tres grandes campos los cuales son:

- Servicios personales
- Servicios de negocios
- Entretenimiento

Es importante mencionar que dentro de los servicios personales se incluye tanto el monitoreo medico como las aplicaciones de domótica. En el ámbito de servicios de negocios existen aplicaciones típicas tales como el monitoreo ambiental y búsqueda de personas. Y por último cuando se habla del entretenimiento las redes PAN se usan en múltiples servicios como uno de ellos el video en alta velocidad.

Lo que es un hecho que las redes PAN tienen aplicaciones dentro de sistemas tanto con altas tasas de trasferencias como bajas tasas de transferencia, es por eso que los sistemas PAN deben ser capaces de soportar esta gran variedad de servicios de comunicaciones y dispositivos.

Estos dispositivos pueden ir desde simples sensores hasta otros dispositivos que son más complejos con funciones computacionales y de interconexión, existen ciertas características de los dispositivos que se consideran cruciales.

- Funcionalidad y complejidad
- Precio
- Consumo de energía
- Tasas de transferencias
- Confiabilidad
- Interfaces de apoyo

Los dispositivos pueden estar en los usuarios o estar temporalmente en el espacio alrededor de la persona. Se puede ver entonces que las redes PAN ofrecen una solución de conectividad segura en la vida de un usuario ofreciendo control de recursos con QoS, comunicación inalámbrica de bajo consumo eléctrico y bajo costo, y varias terminales reconfigurables.

Por último hay que observar que el futuro de las PAN debido a su demanda es el broadband PAN o B-PAN, que soporta tasa de transferencias mucho mayores hasta aproximadamente 400 Mbps[7].

### 1.2.7 Redes de área corporal (BAN)

Una red de tipo PAN ha ido destacando en los últimos años, estas son las body area Network. Las Body Area Network (BAN), también conocidas como WBAN (Wireless BAN), son redes basadas en sensores implantados en el cuerpo ó simplemente que se llevan puestos encima como “complemento de vestir”. Dichos sensores monitorizan parámetros fisiológicos y la actividad física, enviando dicha información a un teléfono móvil u otro receptor con red inalámbrica. Existen varios grupos de trabajo desarrollando redes de área corporal. Las aplicaciones de las redes BAN varían de acuerdo con el tipo de sensores utilizados.

Pueden ser considerados como sistemas de comunicaciones de pequeña escala, esto trae como consecuencia algunas características particulares para este tipo de redes:

- Cobertura no mayor a 3 metros
- Potencias muy bajas:
  - Eficiencia en energía
  - Protección del cuerpo humano
- Nivel de interferencia bajo

Regularmente las redes BAN son aplicadas en dos ámbitos; el primero, el ámbito médico monitoreando variables del cuerpo humano para diagnóstico, control de tratamiento, prótesis inteligentes asistencia en cirugía entre otras actividades. La segunda aplicación está relacionada con el entretenimiento con contenido multimedia, en la figura 1.6 se muestra un esquema con diferentes posibles aplicaciones de las redes BAN, como el monitoreo corporal ya sea con fines médicos o en el ámbito del deporte, o simplemente entretenimiento [29].

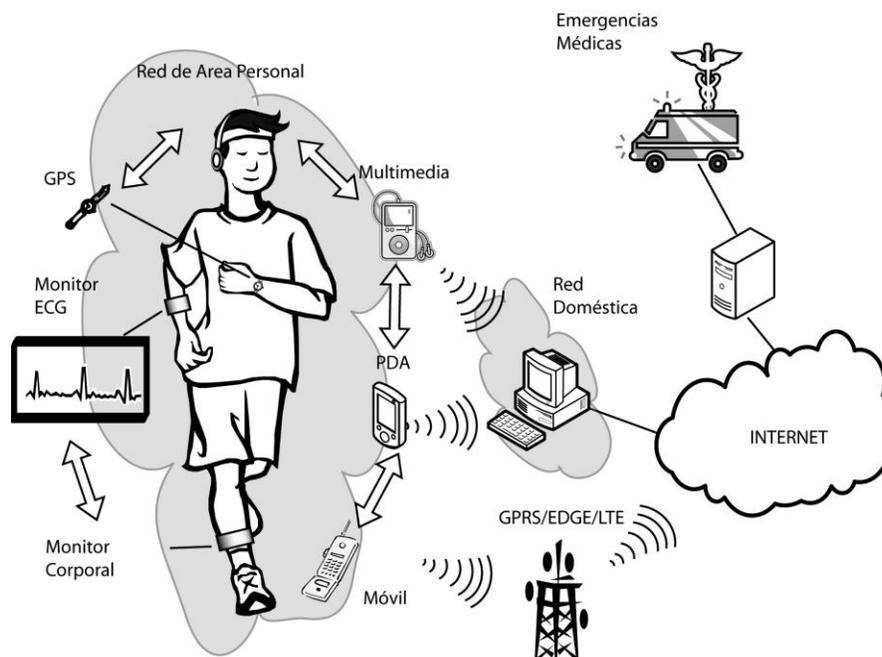


Figura 1.6 Aplicaciones redes BAN [29].

Existen dos tipos de redes BAN caracterizadas por el medio por el cual se comunican los dispositivos, uno es conocido como comunicación intracorporal que usa el tejido humano, cabe mencionar que este tipo de tecnologías usan métodos invasivos. El otro tipo son las BAN no invasivas o superficiales. Como consecuencia existen dos tendencias sobre el tema de las antenas utilizadas, por un lado las antenas de aplicaciones invasivas que requieren de mucha atención para seguir su desarrollo y las que solo están en contacto con el cuerpo humano, pero estas presentan que el cuerpo humano provoca una modificación del patrón de radiación por lo que las antenas textiles se han vuelto una alternativa interesante[29].

Como se ha mencionado ya, los dispositivos de una red PAN deben ser eficientes con la que respecta al funcionamiento de la batería, deben tener un tamaño pequeño y ser capaces de hacer una conversión analógico/digital con gran precisión, por lo que miniaturizarlos es un reto que enfrentan los desarrolladores de esta tecnología. También se debe considerar que los ambientes de transmisión son muy variados provocando que los protocolos de comunicación de redes BAN reduzcan su desempeño por lo que se ve ideal usar para estas tecnologías esquemas de modulación y codificación que sean adaptables dependiendo las condiciones del canal para obtener la mejor relación SNR posible.

Ya que las redes necesitan potencia baja para no provocar con daño al cuerpo humano además de compartir el espacio con otras tecnologías, por lo tanto, se necesita una regulación sobre las tecnologías el grupo de trabajo IEEE 802.15.6 tiene el trabajo de desarrollar un estándar de comunicaciones para dispositivos alrededor del cuerpo humano ya sea transmisiones internas o superficiales. A pesar de que estos estándares están en desarrollo hay tecnologías que, aunque no son especialmente diseñadas para ser redes BAN pero pueden utilizarse como tal, estas son:

- Bluetooth
- Zigbee
- ECMA
- FCC

## 1.3 ZigBee

Las redes inalámbricas han traído soluciones que en tiempos pasados fueron inimaginables, ahora las redes están en todos lados.

Las tecnologías inalámbricas son variadas; desde una red de área local como lo puede ser WiFi o Bluetooth hasta llegar a redes que cubren grandes territorios como lo hace la tecnología celular. El desarrollo de la tecnología y estudio del medio han traído consigo nuevas tecnologías inalámbricas como lo es Zigbee.

Zigbee se posiciona como una red inalámbrica de trabajo que busca una baja tasa de transferencia de información, lo cual se traduce a una tecnología que busca trabajar con un envío eventual de datos como lo es el control de temperatura, control de luces ó cualquier tipo específico de monitoreo.

Mientras otras tecnologías inalámbricas consumen baterías en días e incluso en las próximas horas, Zigbee fue pensado para operar con un bajo consumo de energía lo que puede extender la vida de un par de baterías incluso por años. Al igual que su beneficio en consumo energético los módulos Zigbee pueden tener una vida útil de décadas o más. Zigbee es una tecnología muy efectiva para el conteo inalámbrico en donde se puede tener una conexión punto a punto o crear una red de trabajo en forma de malla donde haya miles de nodos trabajando conjuntamente[3].

Las exigencias del mercado le otorgan a Zigbee un determinado número de necesidades a cubrir por sus características de operación de las que se deben mencionar:

- Alta confiabilidad.
- Una buena relación costo-efectividad.
- Alta seguridad en el manejo de los datos.
- Una apertura en el uso del standard.

Es un estándar de comunicaciones inalámbricas creado por la alianza ZigBee (ZigBee Alliance) en el año 2002 pensado en crear soluciones que podrían ser usadas por cualquier fabricante y está basado en el estándar de redes inalámbricas de área personal (WPAN) de la IEEE 802.15.4.

Así mismo es un conjunto de protocolos de comunicaciones para redes inalámbricas de corto alcance con baja transferencia de datos. Los dispositivos inalámbricos basados en ZigBee operan en las bandas libres de frecuencia de 2.4 GHz, 868 MHz y 915 MHz., con un rango de transferencia de datos entre 20 y 250 Kbps.

Una de las aplicaciones de ZigBee es la supervisión de pacientes de manera remota. Los signos vitales de un paciente como su frecuencia cardiaca por ejemplo pueden ser medidos por un sensor que el paciente usara y que estará conectado a un dispositivo ZigBee para ser enviados y tener un control periódico de su estado por mencionar alguna de las tantas aplicaciones que esta tecnología nos brinda.

ZigBee ha tomado los protocolos de la capa física (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) del estándar IEEE 802.15.4 por lo que un dispositivo compatible con ZigBee también lo es con IEEE 802.15.4.

### 1.3.1 IEEE 802.15.4 y ZigBee

Existen diversos estándares de comunicación para cubrir los requerimientos de una red con baja transferencia de datos y corto alcance, cada uno de ellos con sus propias características y ofertas para diseños específicos lo cual nos obliga a elegir el más adecuado, sin embargo el estándar IEEE 802.15.4 puede ser confundido con ZigBee ya que mantienen una muy estrecha relación pero no son lo mismo.

Es necesario comprender la función de las capas de red, todos los protocolos dividen su funcionamiento en capas para determinar las acciones que cada una de ellas está destinada a realizar. El dividir las capas nos da una ventaja por el hecho de que si se necesita realizar una mejora o implementación no es necesario hacerlo en todo el protocolo sino simplemente en la capa deseada[3].

La figura 1.7 muestra las capas que diferencian el estándar 802.15.4 y ZIGBEE:

Las capas del protocolo de red inalámbrica ZigBee se basan el modelo de referencia OSI (Open System Interconection).

Como se muestra en la figura, el IEEE 802.15.4 define las especificaciones para la capa PHY (capa física) y MAC (control de acceso al medio), sin embargo no especifica nada para las capas de red.

El estándar ZigBee define las especificaciones para las capas de red, de aplicación y de seguridad pero toma las capas PHY y MAC del IEEE 802.15.4. como parte de su protocolo dando así la compatibilidad entre los dispositivos que usan su protocolo como el 802.15.4. ZigBee se construyó de forma independiente al IEEE 802.15.4 por lo que pueden construirse redes inalámbricas utilizando dispositivos de ZigBee pero solamente trabajar con las capas de IEEE 802.15.4 sin tener que llegar a las especificaciones de las capas de red, aplicación y seguridad que han sido definidas por ZigBee únicamente para las capas superiores. Es decisión del desarrollador implementar las capas del estándar ZigBee ó solo trabajar con las especificaciones las capa PHY y MAC[3].

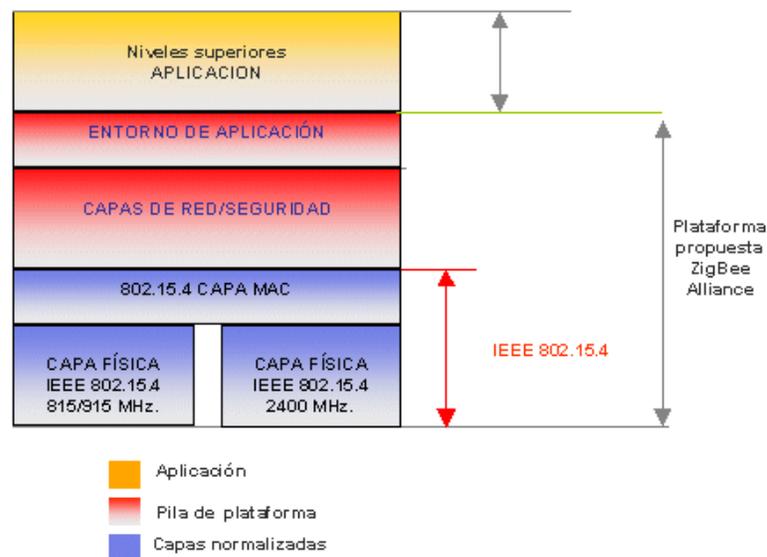


Figura 1.7 Capas del protocolo Zigbee [3].

### 1.3.2 Frecuencias de operación y tasa de transferencia de datos del estándar Zigbee

Debido a las cuestiones de especificaciones que describen la capa física y la capa de control de acceso al medio el estándar 802.15.4 es el encargado de proponer las características de las frecuencias de operación, tasa de transferencia de datos, alcance y funcionamiento de los dispositivos.

IEEE 802.15.4 ofrece tres bandas de frecuencia para la operabilidad de los dispositivos:

- La banda de 868 MHz (868–868.6 MHz)
- La banda de 915 MHz (902–928 MHz)
- La banda de 2.4 GHz (2400–2483.5 MHz)

La banda de 868 MHz se utiliza en Europa para diversas aplicaciones como lo son las conexiones inalámbricas de corto alcance.

La banda de 915 MHz es usada en Norteamérica y la banda de 2.4 GHz se usa en la mayor parte del resto del mundo y normalmente cumplen funciones en el ámbito industrial, científico y médico.

La tabla 1.1 nos muestra información resumida y detallada sobre las especificaciones de las bandas de frecuencia.

Tabla 1.1 Frecuencias y tasas de operación del estándar ZigBee[3].

FRECUENCIA (MHz)	NÚMERO DE CANALES	MODULACIÓN	TASA DE BIT (Kb/s)	TASA DE SYMBOLO (Ksimbolo/s)	MODO DE DIFUSIÓN
868-868.6	1	BPSK	20	20	DSSS BINARIO
902-928	10	BPSK	40	40	DSSS BINARIO
2400-2483.5	16	O-QPSK	250	62.5	16-ARREGLO ORTOGONAL

El estándar IEEE 802.15.4 especifica que los tranceptores usados en la banda de 868 MHz también deben soportar la banda de 915 MHz y viceversa.

En las especificaciones lanzadas en 2006 por IEEE 802.15.4 se aclaran las velocidades para los tranceptores de 868 MHz y 915 MHz con 20 Kbps Y 40 Kbps respectivamente. La banda de 2.4 GHz nos da la posibilidad de trabajar con una velocidad de 250Kbps. Los tranceptores que trabajan en la banda de 2.4 Ghz pueden soportar las bandas de 868 y 915 MHz.

Como se observa en la tabla 1.1 la banda de 868 MHz cuenta con un canal, la de 915 Mhz cuenta con 10 canales Y la banda de 2.4 GHz con 16 canales. Es por eso que los dispositivos que operan con 2.4 GHz y 250 Kbps son muy utilizados para diferentes ámbitos en diferentes industrias. Aunque también las bandas de 868 y 965 MHz son usadas para algunas aplicaciones debido a que por su frecuencia presentan una longitud de onda más grande, lo que le facilita a la señal atravesar obstáculos con una mayor facilidad.

Existen tres tipos de modulación para el estándar IEEE 802.15.4

BPSK: binary phase shift keying. Llave para cambio de fase binario.

ASK: Amplitude shift keying. Llave para cambio de amplitud.

O-QPSK: Offset quadrature phase shift keying. Llave para el cambio de fase en una cuadratura (área).

En BPSK y O-QPSK los datos digitales se encuentran en la fase de la señal mientras que en ASK los datos van en la amplitud de la señal.

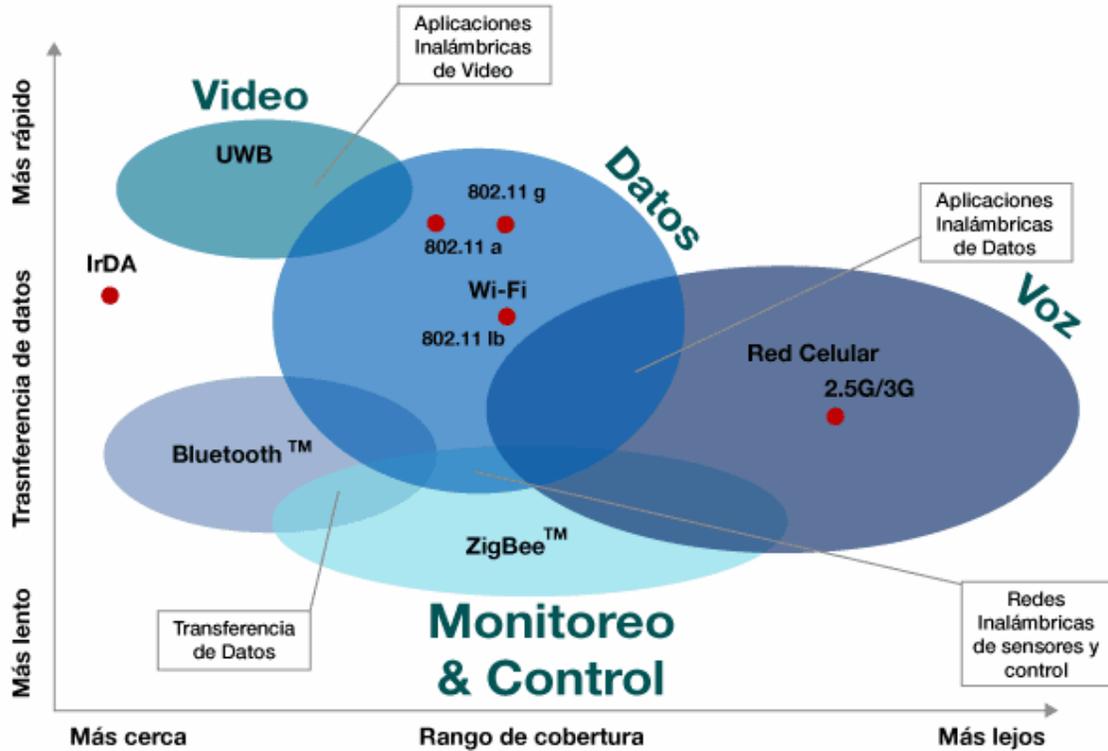


Figura 1.8 Tasa de transferencia de datos [9].

### 1.3.3 Dispositivos de una red Zigbee

Existen dos tipos básicos de dispositivos para una red en el estándar IEEE 802.15.4: Los dispositivos que realizan funciones enteras FFDs (full-function devices) y los que realizan funciones reducidas (RFDs).

Un dispositivo FFD tiene la capacidad de desempeñar todas las funciones descritas en el estándar IEEE 802.15.4 así como aceptar cualquier rol dentro de la red como lo puede ser un coordinador, enrutador o un dispositivo final. Un RFD tiene capacidades limitadas para tomar distintos roles dentro de la red ZigBee como lo podría ser un dispositivo final.

Los dispositivos FFD pueden comunicarse con cualquier dispositivo de la red pero un RFD solo puede realizar comunicación con un FFD.

### 1.3.4 Roles y tareas de los dispositivos en una red ZigBee

Existen tres roles que desempeñan los dispositivos dentro de la red de acuerdo al estándar IEEE 802.15.4 o al estándar ZigBee pero sus funciones son básicamente las mismas: Coordinador, enrutador y dispositivo final.

Para el estándar IEEE 802.15.4 un coordinador es un dispositivo que realiza funciones completas y es capaz de comunicarse con cualquier elemento de la red, ya sea un enrutador o un dispositivo final. Si el coordinador es el controlador principal de una red de área personal (PAN) también puede ser llamado Coordinador PAN. Si existen otros dispositivos que no actúan como coordinador pueden ser llamados simplemente "dispositivos".

Para el estándar ZigBee se usa una terminología un poco diferente. Un coordinador ZigBee es lo que en el IEEE 802.15.4 se llama coordinador PAN. Un enrutador es un dispositivo que en IEEE 802.15.4 es llamado simplemente coordinador. Un dispositivo final sería el equivalente a lo que en IEEE 802.15. se le llama simplemente un dispositivo[3].

### 1.3.5 Topología de una red ZigBee

La capa de red soporta múltiples configuraciones de red incluyendo estrella, árbol, punto a punto y malla. En la configuración en estrella, uno de los dispositivos tipo FFD asume el rol de coordinador de red y es responsable de inicializar y mantener los dispositivos en la red.

Todos los demás dispositivos zigbee, conocidos con el nombre de dispositivos finales, hablan directamente con el coordinador. En la configuración de rejilla, el coordinador ZigBee es responsable de inicializar la red y de elegir los parámetros de la red, pero la red puede ser ampliada a través del uso de enrutadores ZigBee.

El algoritmo de encaminamiento utiliza un protocolo de pregunta-respuesta (request-response) para eliminar las rutas que no sean óptimas. La red final puede tener hasta 254 nodos; utilizando el direccionamiento local, se puede configurar una red de más de 65000 nodos.

Para la topología punto a punto, existe un solo FFD Coordinador; a diferencia con la topología estrella, cualquier dispositivo puede comunicarse con otro siempre y cuando estén en el mismo rango de alcance circundante.

Las aplicaciones orientadas para el monitoreo y control de procesos industriales, redes de sensores inalámbricos, entre otros, son ampliamente usados por estas redes. Proveen confiabilidad en el enrutamiento de datos (multipath routing)[3].

### 1.3.6 Capas del protocolo ZigBee

#### 1.3.6.1 Capa física PHY

La capa física es la capa que se encargara del hardware, lo cual incluye la comunicación y control de los transceptores. Es la responsable de la información que se va a transmitir y recibir adecuándose a las especificaciones que marcan los estándares, seleccionando los canales de frecuencia y modulación que se utilizará para propósitos específicos.

La forma en la que se comunican los dispositivos es a través de paquetes los cuales contienen los datos y comandos.

El paquete de la capa física contiene tres elementos importantes: SHR: la cabecera de sincronización, PHR el encabezado físico, y la carga útil PHY como se muestra en la figura 1.9.

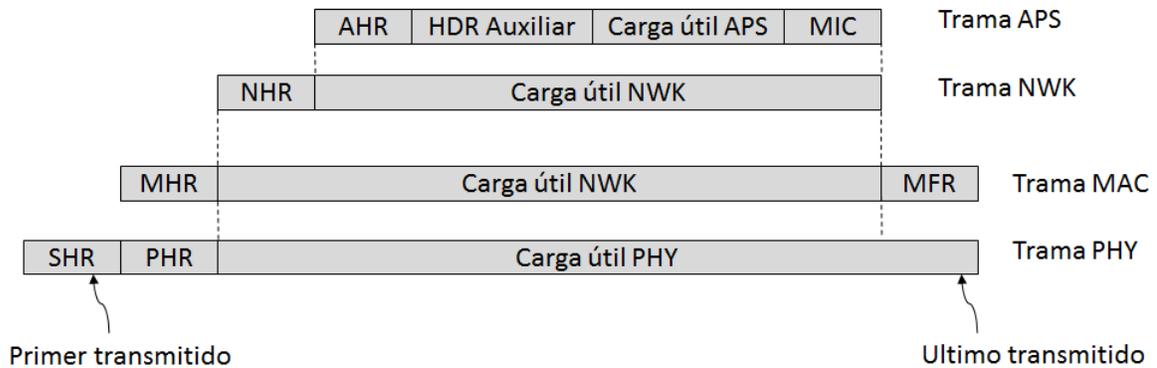


Figura 1.9 Capa física [3].

### 1.3.6.2 Capa de control de acceso al medio MAC

La capa de acceso al medio contiene la interfaz entre la capa física y la capa de red. Es responsable de la guía y sincronización de los dispositivos.

La capa MAC la cual es transmitida en la comunicación entre dispositivos como una carga útil adherida a la PHY, tiene tres secciones. El encabezado MAC que tiene que llevar la información del direccionamiento y la seguridad, la carga útil MAC que tiene longitud variable y lleva los datos y comandos, y el pie de página MAC que lleva una secuencia de bits para la verificación de los datos.

En las figuras 1.10, 1.11 y 1.12 se aprecian cómo se une la capa MAC a la capa física PHY y cómo funciona la trama, así como el reconocimiento de la trama de datos.

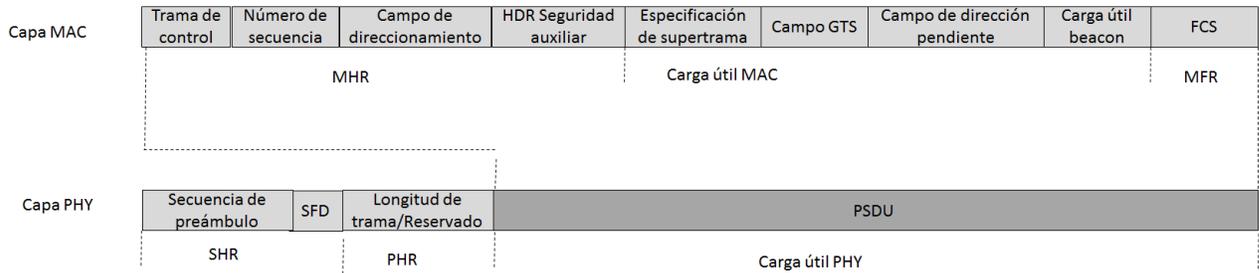


Figura 1.10 La estructura del marco de la capa MAC [3].

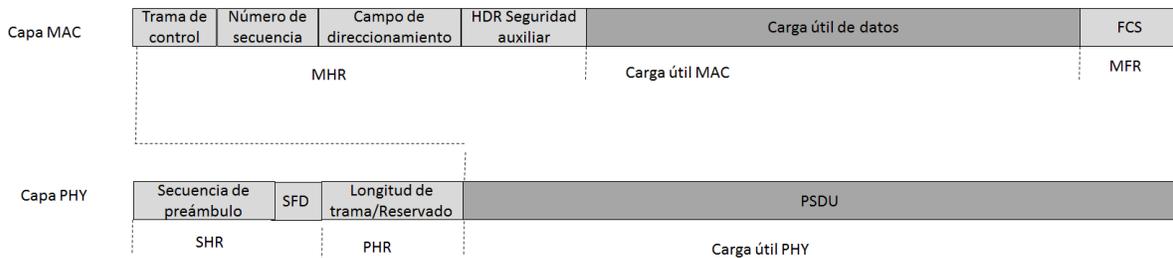


Figura 1.11 La estructura de la trama de datos [3].

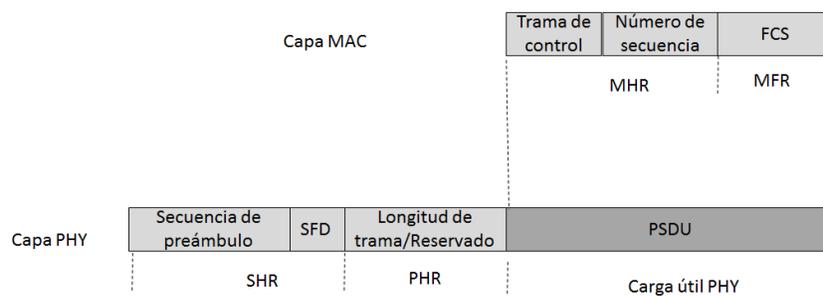


Figura 1.12 Reconocimiento de la estructura de la trama [3].

### 1.3.6.3 Capa de red

La capa de red tiene la función de ser interfaz entre la MAC y la capa de aplicación APL y es la responsable del manejo y control de la formación de la red y el enrutamiento de los paquetes. El enrutamiento realiza el proceso de elegir el mejor camino para que los paquetes lleguen al dispositivo destino. El dispositivo que tiene la función de coordinador realizará las acciones de asignar direccionamiento a los demás dispositivos dentro de su red, todo esto en la capa de red NWK.

La trama de la capa de red consta de dos partes. La NHR ó cabecera NWK que tiene el direccionamiento del nivel de red y la información de control. La otra parte es la carga útil de la capa de red NWK la cual esta sucedida por la subcapa de aplicación APS.

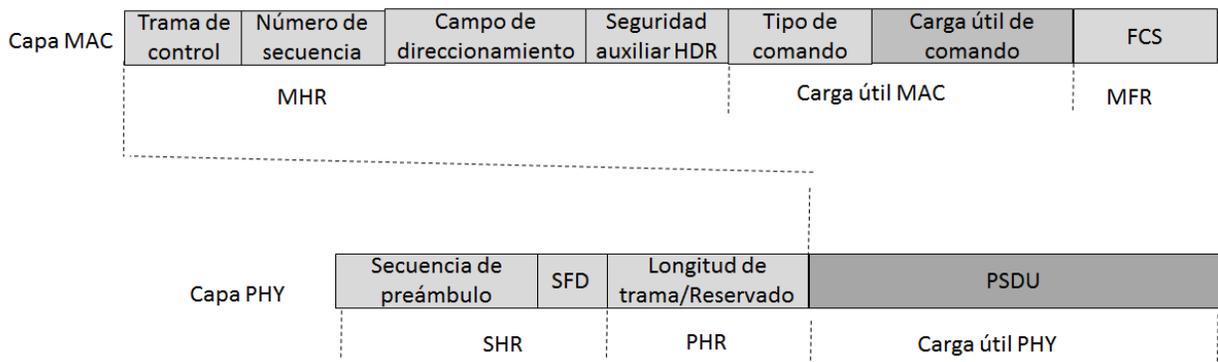


Figura 1.13 Estructura de la trama de comandos [3].



# CAPÍTULO 2 |

## “MICROCONTROLADORES”

## MICROCONTROLADORES

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico que contiene en su encapsulado varios componentes y tiene la característica de ser programable para poder ejecutar las instrucciones previamente definidas.

El microcontrolador incluye en su interior tres elementos básicos:

- CPU (Unidad Central de Procesos).- Esta parte se encarga de ejecutar las instrucciones y controlar que se lleven correctamente cada una de estas. Las instrucciones normalmente hacen el uso de los datos disponibles (datos de entrada) y generan los datos que se necesitan utilizar (datos de salida).
- Tipos de Memorias.- Se encargan de alojar las instrucciones y los datos que se necesitan utilizar. Con esto se logra que la información (instrucciones y datos) siempre esté disponible para que la CPU pueda acceder y trabajar sin ningún problema con ella.
- Terminales (Entrada/Salida).- En las terminales de entrada del microcontrolador se envían los datos necesarios para poder ejecutar las instrucciones deseadas y en las terminales de salida se obtienen los datos que se necesitan, estas terminales se pueden utilizar como entrada y salida indistintamente de las instrucciones que se van a hacer.

## 2.1 Arquitectura Von Neumann

Se empezó a desarrollar en 1949 por el profesor John Von Neumann y se implementó para la construcción de la primera computadora electrónica ENIAC.

En esta arquitectura existe un bus de datos que liga la Unidad Central de Procesamiento (CPU) con la memoria de datos y de programa que contiene los datos y las instrucciones, tal como se aprecia en la figura 2.1 [36].

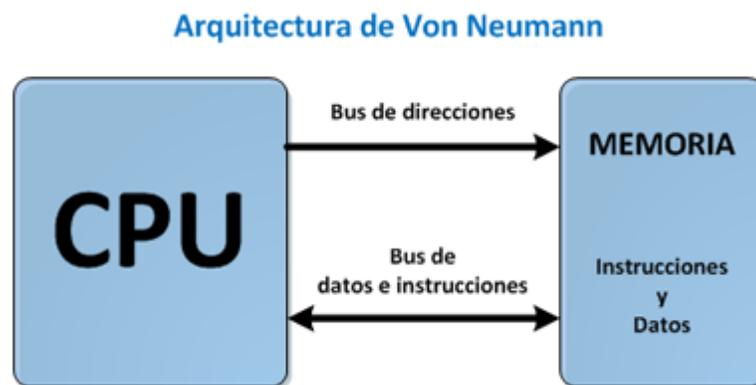


Figura 2.1. Arquitectura de Von Neumann [36].

Las características de la arquitectura Von Neumann son:

- Los datos y las instrucciones se almacenan en una misma memoria de lectura - escritura.
- Los contenidos de la memoria se direccionan indicando su posición, sin considerar el tipo de dato contenido en la misma.
- La ejecución se produce siguiendo una secuencia de instrucción tras instrucción.
- Representación binaria.

Pero a medida que se incrementó la cantidad de datos por procesar, la velocidad de procesamiento disminuye, también existe otro problema ya que la arquitectura se saturaba debido a que el bus de datos debía compartirse con los datos y las instrucciones, lo que difiere mucho en el tiempo de las velocidades de procesamiento entre ellas y genera un fenómeno al que se le denominó “Cuello de botella de Neumann” [36].

## 2.2 Arquitectura Harvard

Se desarrolló en 1970 para solucionar los problemas de velocidad de procesamiento que se tenía en la arquitectura Von Neumann.

En la arquitectura Harvard como se observa en la figura 2.2 se encuentra conectada la CPU con la memoria por dos distintos buses: uno de datos y el otro de instrucciones, por lo que el ancho del bus ya no se satura por la cantidad de datos por procesar y puede recibir instrucciones por los distintos buses [36].

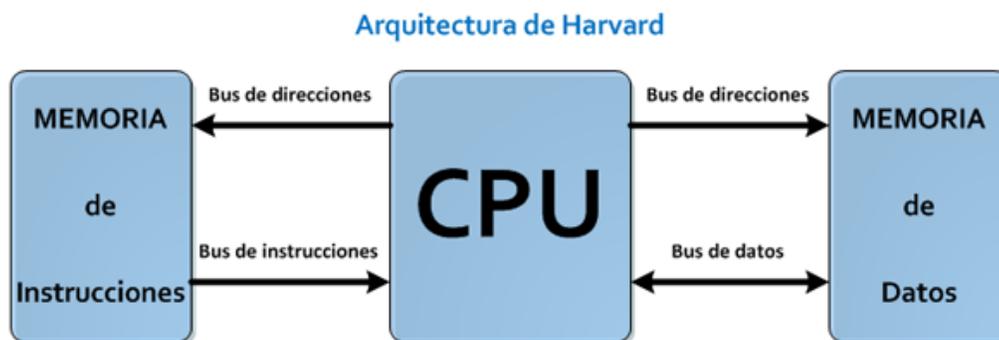


Figura 2.2. Arquitectura Harvard [36].

A continuación, se hará una descripción y comparación que existe entre el Microcontrolador MSP430 y el Arduino, cada uno con sus características correspondientes:

## 2.3 Microcontrolador MSP430

Los procesadores de Señal Mixta (Mixed Signal Processor) MSP 430 de Texas Instruments son una familia de microcontroladores que tienen la capacidad para hacer operaciones de procesamiento analógico, su consumo de corriente es muy bajo, está diseñado para aplicaciones de bajo costo, contienen diferentes capacidades de memorias y periféricos, todos son compatibles en software, lo que permite una migración sencilla entre diseños a dispositivos con mayor capacidad de memoria o periféricos adicionales [38].

### 2.3.1 Características

- Bajo rango de voltaje de suministro: 1.8 V a 3.6 V
- Consumo de energía ultra bajo.
  - Modo activo: 230  $\mu$ A a 1 MHz, 2.2 V
  - Modo de espera: 0.5  $\mu$ A
  - Modo desactivado (Retención RAM): 0.1  $\mu$ A
- Cinco modos de ahorro de energía.
- Activación ultrarrápida del modo en espera en menos de 1  $\mu$ s
- Arquitectura RISC de 16 bits, tiempo de ciclo de instrucción de 62.5 ns

- Configuraciones básicas del módulo de reloj.
  - Frecuencias internas de hasta 16 MHz con cuatro frecuencias calibradas.
  - Oscilador interno de frecuencia baja (LF) y de consumo muy bajo.
  - Cristal de 32 kHz.
  - Fuente del reloj digital externo.
- Dos temporizadores A de 16 bits con tres registros de captura/comparación.
- Hasta 24 terminales de Entrada/Salida habilitados táctiles y capacitivos [37].

### 2.3.2 Arquitectura MSP430

La arquitectura de la familia MSP430 se observa a continuación en la figura 2.3:

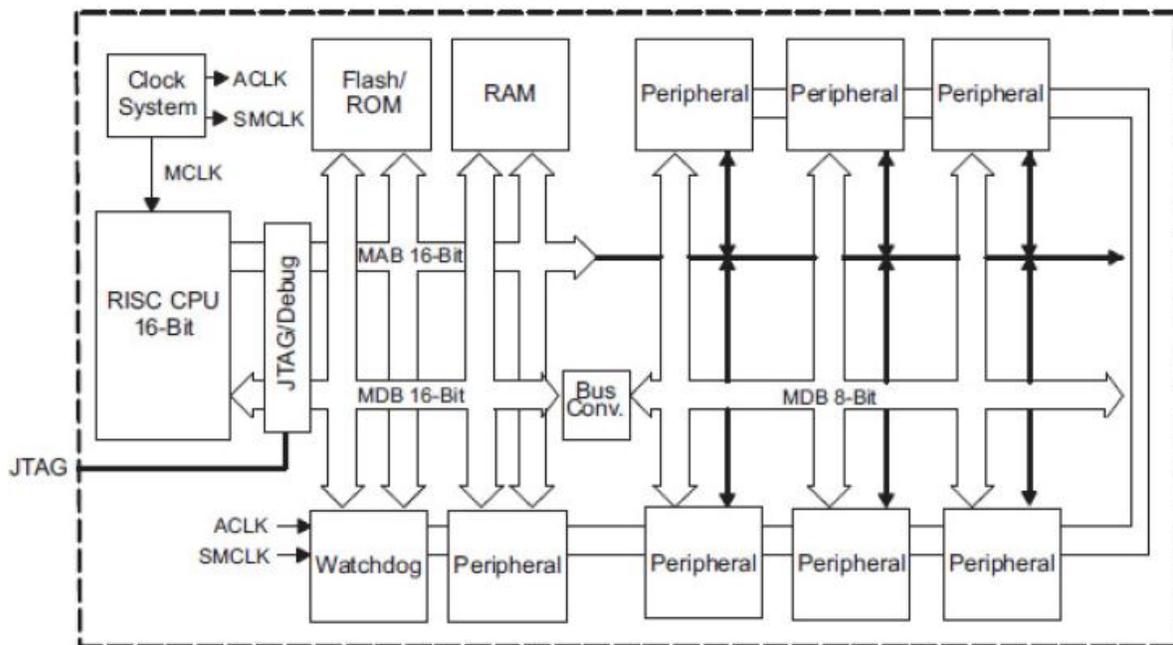


Figura 2.3. Arquitectura MSP430 [37].

- Unidad Central de Procesos (CPU):

La CPU MSP430 tiene una arquitectura RISC de 16 bits. La CPU está integrada con 16 registros que proporcionan tiempo de ejecución de instrucción reducido. Todas las operaciones de registro se realizan junto con siete modos de direccionamiento para el operando de origen y cuatro modos de direccionamiento para el operando de destino. El tiempo de ejecución de la operación registro-registro es un ciclo del reloj de la CPU [37].

- Memoria Flash:

La memoria flash se puede programar a través del puerto JTAG o en el sistema por la CPU. La CPU puede realizar escrituras de un solo byte y de una sola palabra en la memoria flash.

Las características de la memoria flash incluyen:

- La memoria flash tiene n segmentos de memoria principal y cuatro segmentos de memoria de información (de A a D) de 64 bytes cada uno. Cada segmento de la memoria principal tiene un tamaño de 512 bytes.
- Los segmentos 0 a n se pueden borrar en un paso, o cada segmento puede borrarse individualmente.
- Los segmentos A a D pueden borrarse individualmente o en grupo con segmentos de 0 a n.
- El segmento A contiene datos de calibración [37].

- Periféricos:

Los periféricos se conectan a la CPU a través de datos, direcciones y buses de control y se pueden manejar usando todas las instrucciones [37].

- Oscilador y reloj del sistema:

El sistema de reloj está soportado por el módulo de reloj básico que incluye soporte para un oscilador de cristal de reloj de 32768 Hz, un oscilador de baja frecuencia de muy baja potencia interno y un oscilador digital de control digital (DCO).

El módulo de reloj básico está diseñado para satisfacer los requisitos de bajo costo del sistema y bajo consumo de energía. El DCO interno proporciona una fuente de reloj de encendido rápido y se estabiliza en menos de 1  $\mu$ s. El módulo de reloj básico proporciona las siguientes señales de reloj:

- Reloj auxiliar (ACLK): Proveniente de un cristal de reloj de 32768 Hz o del oscilador LF interno.
- Reloj principal (MCLK): El reloj del sistema utilizado por la CPU.
- Reloj sub-principal (SMCLK): El reloj del subsistema usado por los módulos periféricos [37].

- Temporizador Watchdog (WDT +):

La función principal del temporizador watchdog (WDT +) módulo es realizar un reinicio del sistema controlado después de un problema de software que se pueda producir. Si el intervalo de tiempo seleccionado expira, se generará un restablecimiento del sistema. Si la función watchdog no es necesaria en una aplicación, el módulo puede ser deshabilitado o configurado como un temporizador de intervalo y puede generar interrupciones en intervalos de tiempo seleccionados [37].

### 2.3.3 Identificación de los dispositivos

Para poder identificar el dispositivo a través de su número de serie se puede realizar de la siguiente forma:

*N° de serie: MSP430F2618ATZQWT-EP*

Familia MSP430.

F= Memoria Flash.

2= Generación del dispositivo.

6= Modelo dentro de la generación.

18= Cantidad de memoria del dispositivo.

A= Revisión.

T=Rango de temperatura

ZQW = Encapsulado.

T = Entregado en carrete pequeño.

-EP = Características adicionales.

## 2.4 Arduino

Arduino es una plataforma de hardware y software basada en una sencilla placa con un microcontrolador con entradas y salidas, analógicas y digitales, que está basado en el lenguaje de programación Processing, diseñada para facilitar los proyectos de electrónica que se requieran desarrollar. El Arduino tanto en su diseño como su distribución, puede utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto.

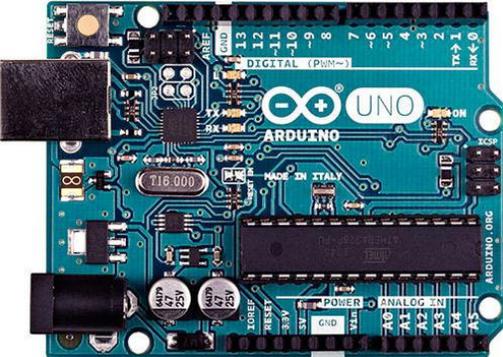
Existen varias versiones de la placa Arduino dependiendo de la programación del proyecto que se requiera desarrollar, va a tener diferentes características como el tamaño físico, el número de terminales de entrada y salida que se necesiten, el modelo del microcontrolador, entre otras cosas.

Los microcontroladores utilizados en las diferentes placas Arduino pertenecen a la misma “familia tecnológica”, por lo que su funcionamiento en realidad es bastante parecido entre sí. En concreto, todos los microcontroladores son de tipo AVR, una arquitectura de microcontroladores desarrollada y fabricada por la marca Atmel [40].

## 2.5 Comparación entre Launchpad y Arduino

A continuación, se muestra la tabla 2.1 comparativa de la placa MSP430 y el tipo de Arduino en consideración para poder utilizarlo en el prototipo, para obtener la conversión de la señal analógica a digital:

Tabla 2.1. Comparación entre Launchpad y Arduino[37][40].

MSP430	Arduino UNO
<p>Microcontrolador: MSP430G2553</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 1.8 V a 3.6 V</p> <p>Entradas/Salidas: 24</p> <p>Consumo de energía ultra bajo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Modo activo: 230 <math>\mu</math>A a 1 MHz, 2.2 V</li> <li>➤ Modo de espera: 0.5 <math>\mu</math>A</li> <li>➤ Modo desactivado (Retención RAM): 0.1 <math>\mu</math>A</li> </ul> <p>Configuraciones básicas del módulo de reloj:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Frecuencias internas de hasta 16 MHz con cuatro frecuencias calibradas.</li> <li>➤ Oscilador interno de frecuencia baja (LF) y de consumo muy bajo.</li> <li>➤ Cristal de 32 kHz.</li> <li>➤ Fuente del reloj digital externo.</li> </ul> <p>Memoria Flash: 16 KB</p> <p>SRAM: 512 Bytes</p>	<p>Microcontrolador: ATmega328</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 5 V</p> <p>Voltaje de Entrada (recomendado): 7 a 12 v</p> <p>Voltaje de Entrada (limite): 6 a 20 v</p> <p>Terminales I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)</p> <p>Terminales de entradas analógicas: 6</p> <p>Corriente DC por cada pin I/O: 20 mA</p> <p>Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA</p> <p>Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados por el bootloader</p> <p>SRAM: 2 KB (ATmega328)</p> <p>EEPROM: 1 KB (ATmega328)</p> <p>Velocidad de reloj: 16 MHz</p> <p>Longitud: 68.6 mm</p> <p>Ancho: 53.4 mm</p> <p>Peso: 25 g</p>
 <p>The image shows a red MSP430 Launchpad board. It features a central microcontroller chip, a USB connector at the top, and various pins labeled for digital and analog connections. The board is branded with 'Texas Instruments' and 'LaunchPad'.</p>	 <p>The image shows a blue Arduino Uno board. It features a central ATmega328P microcontroller chip, a USB Type-B connector, a DC power jack, and a breadboard header. The board is branded with 'Arduino' and 'UNO'.</p>

En conclusión el Arduino es una buena opción siempre y cuando solo se haga control (mover motores, prender LED's, sensores, etc.), ya que con sus escasos 16 MHz de señal de reloj ni siquiera da la posibilidad de procesar audio, necesitas al menos 44.1 MHz para ello, en cuanto al procesamiento de la señal es malo ya que Arduino tiene muchos problemas para operar rutinas en punto flotante, pasando a código ensamblador Arduino necesita bastantes líneas mientras que en otras plataformas utilizan muy pocas, poniéndolo en desventaja. En cuanto al software se tienen muchas bibliotecas y ejemplos tan solo ya integrados en su compilador.

Desde el punto de los costos Arduino es muy caro, la placa no tiene un precio razonable por lo que te venden. Otra desventaja es que los terminales ya están bien definidos y es técnicamente imposible realizar un cambio significativo, ya que se cuenta con un número determinado de pines digitales y análogos, así como algunos pines para comunicación serial. Estos son fijos, no hay más opciones.

Por lo tanto, seleccionamos la Launchpad MP430 de Texas Instruments porque es más económico, el voltaje de suministro es de bajo rango, su consumo de corriente es muy bajo, es posible modificar los pines y tener según tu desees pines digitales y análogos, e incluso varios puertos seriales, y lo más importante es que esta plataforma te brinda una buena posibilidad de interconexión de sensores o comunicaciones ya sean seriales, con módulos de comunicación y se puede implementar un buen diagrama de conexión básico.



## CAPÍTULO 3 |

# “METROLOGÍA DEL PULSO CARDIACO”

## METROLOGIA DEL PULSO CARDIACO

### 3.1 Sistema Circulatorio

De manera general, el sistema circulatorio tiene como función principal el bombeo de sangre mediante el corazón para llegar todos los tejidos corporales a través de los vasos sanguíneos.

#### 3.1.1 Corazón

Es un órgano muscular encargado del bombeo de la sangre al cuerpo y se puede estimar que mide aproximadamente 12 cm de largo, 8 de ancho y 6 cm de espesor, y con peso que oscila entre 250 y 300 gramos y se localiza en la región central del tórax, en el mediastino medio e inferior, entre los dos pulmones.

El corazón tiene cámaras cardíacas y son cuatro, las dos superiores son las aurículas y las dos inferiores son los ventrículos, donde las aurículas entregan la sangre a los ventrículos y estos la bombean a mayores distancias.

El ventrículo izquierdo recibe la sangre rica en oxígeno y la bombea hacia la aorta, desde donde se puede distribuir a todos los órganos del cuerpo menos a los alveolos por medio de un circuito cerrado y la sangre descarga el oxígeno y toma el dióxido de carbono[10].

### 3.1.2 Sangre

La sangre tiene las funciones generales de transportar el oxígeno, dióxido de carbono, nutrientes y hormonas desde y hasta las células del cuerpo. También ayuda a regular la temperatura y el pH corporales, y provee protección contra enfermedades en la producción de anticuerpos.

La mayoría de las células no son capaces de circular para obtener nutrientes, oxígeno o eliminar el dióxido de carbono, estas necesidades son satisfechas por la sangre. La sangre es un tejido compuesto por una matriz de células llamada plasma, donde se disuelven sustancias y células sanguíneas [10].

Puede observarse que la sangre tiene principalmente tres funciones:

- **Transporte.** Se encarga de llevar el oxígeno de los pulmones hacia las células del cuerpo y de forma inversa el dióxido de carbono desde las células hasta los pulmones. Otra sustancia que transporta la sangre son los nutrientes desde el tracto intestinal hasta las células, también transporta hormonas desde las glándulas hacia las células. También transporta calor y productos de desecho.
- **Regulación.** Es capaz de ayudar a regular el pH y contribuye en el ajuste de la temperatura corporal.
- **Protección.** La sangre se puede coagular para no perder grandes cantidades de sangre después de ocurrir una lesión, también esta protección se manifiesta cuando los glóbulos blancos protegen al cuerpo de las enfermedades, además de existir proteínas sanguíneas que ayudan al combate de las enfermedades.

Hablando de las características físicas se puede observar que es más densa y viscosa que el agua, su temperatura es de 38°C, un pH entre 7.35 y 7.45, están en cantidades de 4-5 litros y 5-6 litros, en cuerpos de mujer y hombre respectivamente. Hay hormonas que aseguran que el volumen y la presión sanguínea se mantengan relativamente constantes [10].

### 3.1.2.1 Componentes de la sangre.

La sangre es compuesta por el plasma con sustancias disueltas, y elementos corpusculares como los son los glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas. Los glóbulos rojos (GR) contiene la proteína transportadora de oxígeno que es la hemoglobina, los glóbulos blancos (GB) son células completas y las plaquetas por otro lado son fragmentos de células los GB tienen varias variantes que dependen las diferentes tareas que pueden realizar, aunque su objetivo común es el de eliminar cuerpos extraños ajenos al cuerpo [10].

### 3.1.2.2 Vasos sanguíneos

Son estructuras huecas que y tubulares que conducen la sangre hay dos grandes grupos de estos, las venas y las arterias.

Las venas son vasos sanguíneos que llevan la sangre la sangre desde los órganos hasta el corazón, transportando sangre desoxigenada.

Las arterias son vasos sanguíneos encargados de transportar la sangre desde el corazón hasta los órganos transportando oxígeno exceptuando las arterias pulmonares que transportan dióxido de carbono [10].

### 3.1.2.3 Movimientos del corazón

Cuando el corazón está palpitando se puede diferenciar dos tipos de movimientos, la contracción y la dilatación que se les conocen con los nombres de sístole y diástole. Sístole es el movimiento de contracción del corazón y de las arterias para empujar la sangre que contiene, por lo contrario, diástole es el movimiento de dilatación del corazón y de las arterias, cuando la sangre penetra en su cavidad [10].

### 3.2 Saturación de oxígeno

La respiración es el intercambio de gases que el cuerpo humano realiza con el medio ambiente para obtener oxígeno por medio del sistema respiratorio para respiración celular por la cual el cuerpo humano obtiene energía. La necesidad de oxígeno en el cuerpo depende de si el organismo en cuestión está en reposo o actividad por lo que la frecuencia respiratoria y la cantidad de aire ingerido, se ajustan a la necesidad del cuerpo de manera automática [8].

La medición del oxígeno que es transportado por medio de los vasos sanguíneos se le llama oximetría. Se efectúa midiendo la saturación de oxígeno transcutánea de la sangre e indirectamente se obtiene la saturación arterial de oxígeno.

La técnica se apoya en la espectrometría y la Ley de Beer Lambert que dice que la cantidad de radiación electromagnética absorbida por una sustancia se puede relacionar cuantitativamente con la concentración de dichas sustancias. EL estado de la hemoglobina se puede clasificar según la longitud de onda que puede absorber:

- HbO<sub>2</sub> Oxigenada
- Hb desoxigenada
- COHb carboxiHb
- MetHb metahemoglobina

La HbO<sub>2</sub> está saturada de oxígeno por lo que transporta el oxígeno mismo, la Hb se está en las venas y no se encuentra saturada de oxígeno, va hacia los pulmones para saturarse de oxígeno y convertirse en HbO<sub>2</sub> [8]

Normalmente en el cuerpo humano se tiene una saturación de oxígeno de 95-100%.

### 3.2.1 Pulsioxímetro

La técnica para medir la saturación de oxígeno en la sangre se base en el hecho de que la hemoglobina en su fase de Hb absorbe el espectro electromagnético en el rango de 600nm-750nm, y cuando se encuentra como HbO<sub>2</sub> absorbe las longitudes de onda de 850nm-1000nm. Tomando lo anterior en cuenta se envía luz por medio de diodos LED's por un extremo que es recibida por otro extremo por fotodetector, normalmente esta medición se realiza en un dedo [30].

Al principio esta técnica presentaba dos inconvenientes uno era que en la zona donde se toma la medida no solo hay sangre arterial, si no también venosa y capilar, y el otro era que no solo la hemoglobina era la que absorbía luz si no que había más tejidos que también absorbían la luz. Afortunadamente un ingeniero japonés llamado Aoyagi encontró que algunas componentes absorbidas del rango rojo infrarrojo solo eran absorbidas por la hemoglobina arterial en su mayor parte. Dichas componentes son 660nm en el espectro rojo y 940nm en el espectro infrarrojo.

Gracias a esto se desarrolló el pulsioxímetro, útil en la medición en tiempo real de la oxigenación de un paciente.

El pulsioxímetro es un sensor no invasivo de la saturación del oxígeno, según lo descrito anteriormente se entiende que la hemoglobina desoxigenada absorbe el espectro de luz de 660 nm y la hemoglobina oxigenada el espectro de luz de 940 nm esto se puede observar en la figura 3.1 una gráfica de del coeficiente de extinción de estas longitudes de onda [30].

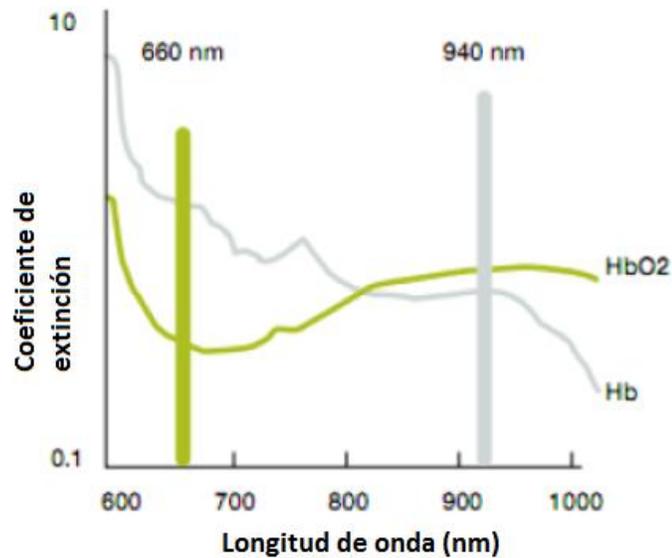


Figura 3.1 coeficiente de extinción [30].

Un fotodetector percibe la luz de los LED's que no fue absorbida, es invertida por un amplificador operacional y da como resultado una señal como la figura 3.2, que representa la luz que fue absorbida por el cuerpo, y tiene dos componentes uno en DC y otra en AC esto quiere decir la señal variable estará variando a partir de este valor en DC. Debe saberse que la componente en DC físicamente representa la luz que fue absorbida por el tejido, la sangre venosa, y la sangre no pulsátil de las arterias, y que la componente en AC representa una medida del pulso de la sangre arterial. En la figura 3.2 la cantidad de luz absorbida por el tejido, sangre venosa, sangre arterial no pulsátil y pulsátil es representada por el color rosa, azul y rojo respectivamente [30].

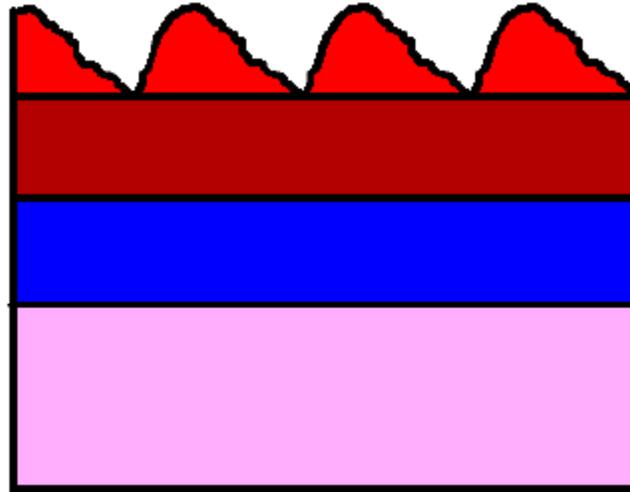


Figura 3.2 Luz absorbida por el cuerpo humano [30].

Un pulsioxímetro normalmente entrega una señal parecida a la que se muestra en la figura 3.3, que es el pulso de arterial de la sangre; por lo que además, de darnos la saturación de oxígeno un pulsioxímetro permite obtener los latidos por minuto de una persona, o sea el pulso cardiaco [30].

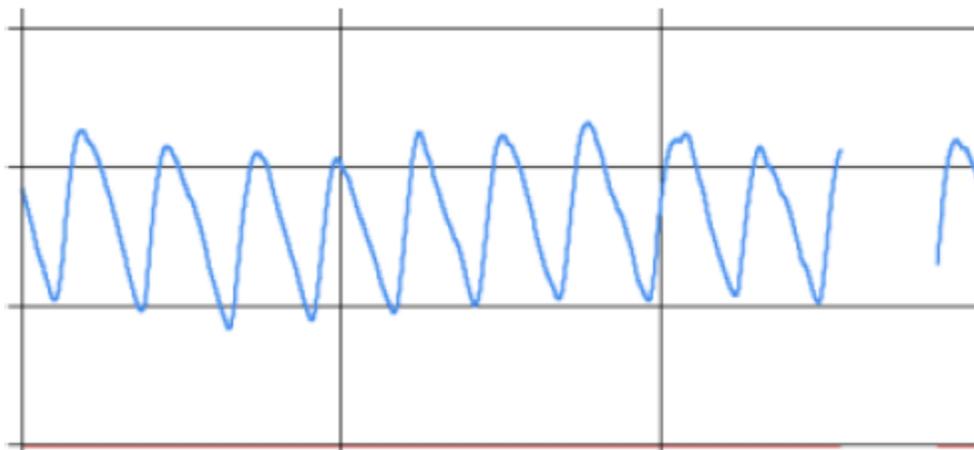


Figura 3.3 Señal típica de un pulsioxímetro [30].

Cuando se toma una lectura del pulso cardíaco en una persona se toma, esta debe compararse con los valores considerados normales en el cuerpo humano en reposo, en la tabla 3.1 se observan los rangos de valores normales del pulso cardíaco en función de la edad [17].

Tabla 3.1 Valores normales del pulso cardíaco [17].

<b>Edad</b>	<b>Pulsaciones por minuto</b>
Recién nacido	120-170
Lactante menor	120-160
Lactante mayor	110-130
2-4 años	100-120
6-8 años	100-115
Adulto	60-80

Cuando se encuentra una medida fuera de estos rangos es síntoma de alguna anomalía en el funcionamiento del cuerpo humano, ya sea el caso de sobrepasar el rango o quedar por debajo del valor mínimo, en dichos casos es necesario dar atención especial a la persona que esté sufriendo la anomalía [17].



# CAPÍTULO 4 |

# “DESARROLLO”

## DESARROLLO

Con la intención de resolver la problemática que se presenta en el sector salud se plantea la idea de implementar un sistema de supervisión que cuente con ciertas características como observar de manera simultánea varios pacientes, una comunicación inalámbrica entre un dispositivo de medición y un punto remoto donde se visualice el estado de los pacientes, que sea un sistema de medición en tiempo real de bajo costo y consumo de energía; además, de brindar la opción de aumentar así como reducir el número de pacientes monitoreados en la red sin alterar el funcionamiento de ésta.

Por estas condiciones Zigbee es un estándar que se adapta perfectamente a las necesidades del proyecto. Para la implementación de esta solución se propone la creación de una red que consta de un solo dispositivo final, encargado de obtener la medición del pulso cardiaco a través de un sensor y un coordinador; cuya función es, recibir y reconstruir la señal biológica que fue enviada por el dispositivo final.

El proyecto consta de cinco etapas fundamentales para lograr su objetivo, la figura 4.1 muestra el diagrama a bloques en el cual se basa el funcionamiento del prototipo. La primera etapa trata de la medición de signos vitales, en este caso en particular se trata de la medición del pulso cardiaco de un paciente mediante un transductor.

La segunda etapa consta de un microcontrolador que realiza la conversión analógica/digital de la señal enviada por el sensor, y después del procesamiento se envía al módulo que actúa como transmisor.

La tercera etapa se encarga de recibir la señal procesada por el microcontrolador y enviarla usando el protocolo ZigBee.

Posteriormente se tiene la cuarta etapa que es en la cual se recibe la información en el receptor con otro modulo que utiliza el protocolo ZigBee, y entrega a la siguiente etapa los datos.

Finalmente en la quinta etapa se tiene una computadora que recibe la información entregada por el módulo receptor para que por medio de un programa de aplicación sea posible reconstruir la señal original obtenida por sensor.

En los siguientes temas se detalla el proceso de desarrollo por etapas.

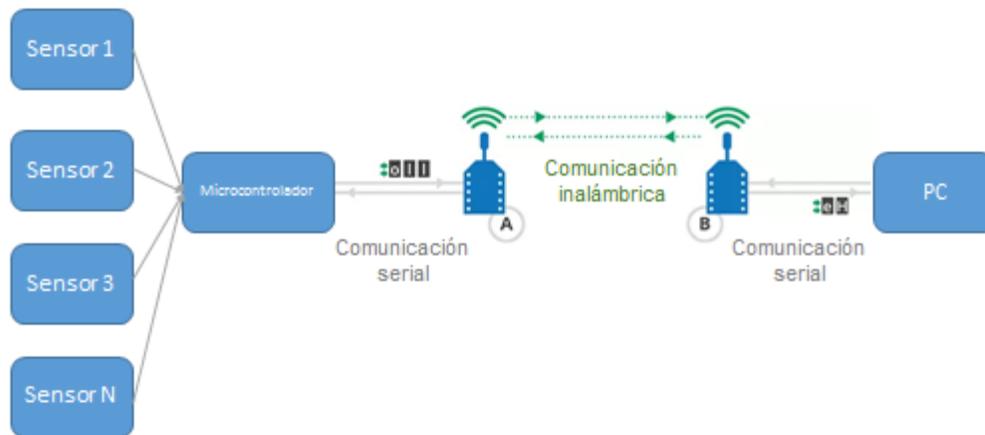


Figura 4.1 Diagrama del proceso de desarrollo.

## 4.1 Sensor

Para obtener una señal fiel y con un mínimo nivel de ruido en la primer etapa se optó por utilizar un módulo sensor de pulso cardíaco cuyas características técnicas son descritas en la sección de anexos en el Anexo 1 del presente trabajo así como el principio de funcionamiento que es detallado en el capítulo 3 .

Siguiendo las especificaciones del fabricante se adaptó el sensor con los materiales recomendados para su uso adecuado sin dañar los componentes del módulo, en la figura 4.2 se observa una fotografía del sensor junto con sus aditamentos que incluyen una cinta de velcro para mantener fijo el sensor en el dedo de la persona bajo prueba y micas protectoras del sensor para que los componentes naturales del cuerpo generen una mínima cantidad de ruido.



Figura 4.2 Sensor de pulsos con accesorios

Se verificó el funcionamiento del sensor alimentándolo bajo las especificaciones del fabricante, con un voltaje de 3 a 5 volts proveniente de una fuente de CC, conectando a la salida del sensor un canal de un osciloscopio obteniendo así la señal que se muestra en las figuras 4.3.1 y 4.3.2.

Se realizaron pruebas en 3 personas para obtener la medición de la frecuencia cardiaca obteniendo variaciones notables en los resultados que se muestran en la tabla 4.1.

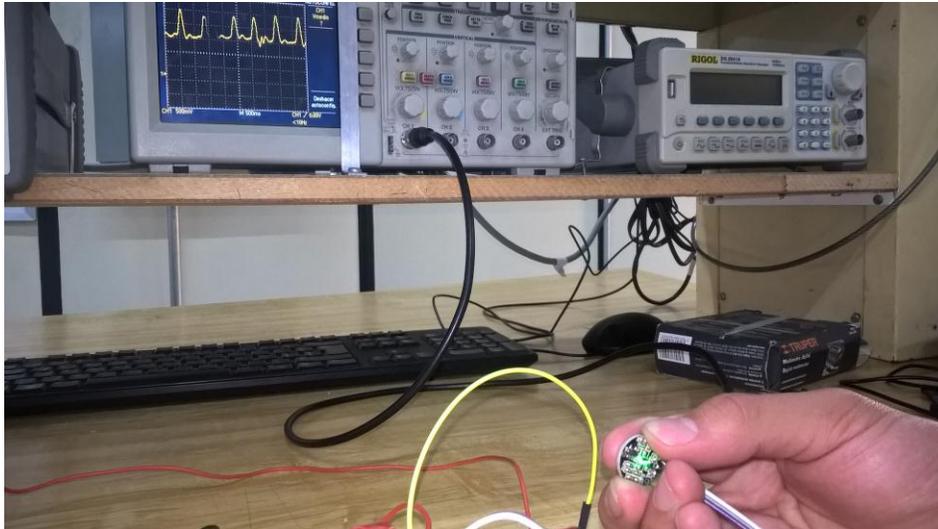


Figura 4.3.1 Medición del sensor con osciloscopio digital.

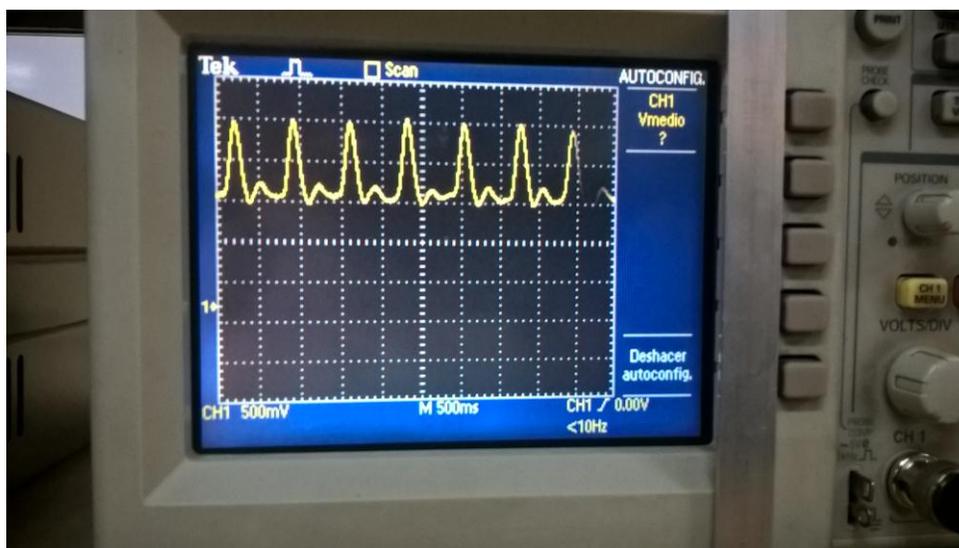


Figura 4.3.2 Gráfica de la señal del pulso cardiaco.

Tabla 4.1 Resultado de las mediciones obtenidas por el sensor.

PERSONA	FRECUENCIA CARDIACA (latidos por minuto)
Persona 1	60 lpm
Persona 2	72 lpm
Persona 3	85 lpm

### 4.1.1 Filtrado de la señal

El filtrado de la señal se realiza a través del diseño de un filtro pasabajas, el cual nos permitirá por su baja pendiente evitar pérdidas significativas y eliminar frecuencias por encima del rango deseado. Al diseñar un filtro pasabajas debemos establecer una frecuencia central la cual estará influenciada por el ancho de banda de la frecuencia cardiaca, el cual tomaremos como referencia en un intervalo de latidos por minuto entre 30 y 240 latidos por minuto. Traducido en Hertz obtenemos el ancho de banda de 3.5 Hertz ya que va de 0.5 a 4 Hertz.

Nuestra frecuencia de corte  $f_o$  será de 4 Hertz y propondremos un valor para el capacitor para obtener el valor de la resistencia.

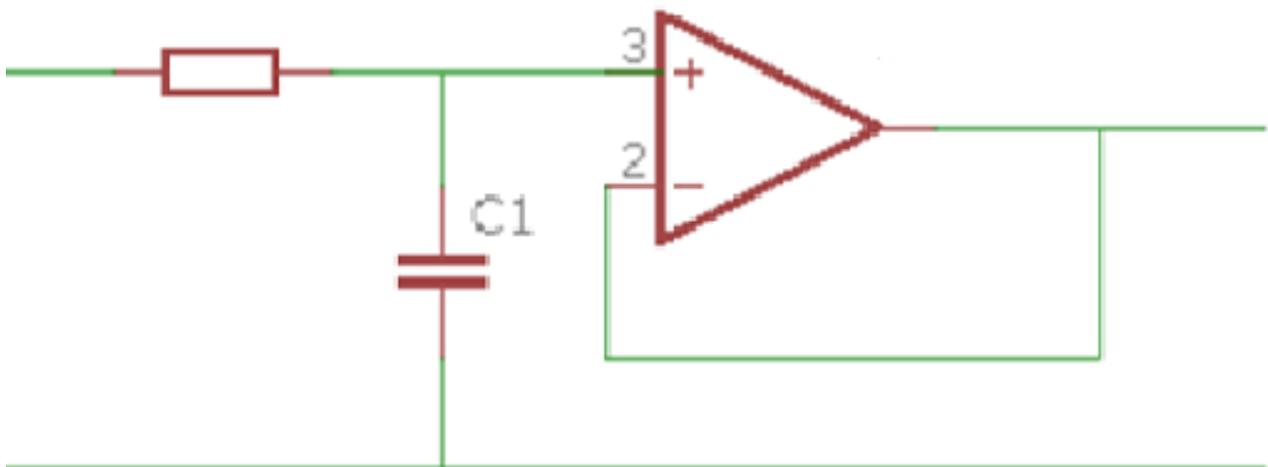


Figura 4.4 Esquema eléctrico de filtro pasabajas.

Ecuación para filtro con ganancia de 1

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Valores propuestos

$$f_0 = 4 \text{ Hz}$$

$$C = 100 \text{ nF}$$

$$R = \frac{1}{2\pi f_0 C} = \frac{1}{2\pi(4)(100 \times 10^{-9})} = 397.8873 \text{ K}\Omega$$

Ajuste comercial y recalcu

$$R = 390 \text{ K}\Omega$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(390 \times 10^3)(100 \times 10^{-9})} = 4.0808$$

## 4.2 Procesamiento de la señal con el microcontrolador

La segunda etapa se trata del procesamiento de la señal analógica. Para procesar la señal se utilizó el microcontrolador MSP430-G2553 que trabaja sobre la tarjeta de desarrollo Launchpad de Texas Instruments, las características eléctricas se especifican en el Anexo 2; así mismo, para la programación del microcontrolador se usó el entorno de desarrollo integral ENERGIA de Texas Instruments.

La elección de estos instrumentos es en base a la compatibilidad eléctrica entre sensor, Launchpad y el módulo ZigBee de comunicación utilizado en este proyecto.

La Launchpad cuenta con entradas específicas y definidas para el procesamiento de señales analógicas/digitales lo cual nos brinda una herramienta muy útil para la conversión de la información que proviene de señales biológicas y que se pretende convertir en información digital. En éste caso se usa el puerto identificado como A0 en conjunto a la función `analogRead ()` para realizar la lectura de los datos analógicos.

`analogRead()`: Lee una entrada analógica y realiza la conversión A/D usando diez bits, por lo que el valor censado le otorgará un valor numérico entre 0 y 1023 ( $2^{10}$ ), para asignar valores según se el voltaje a la entrada el cual debe encontrarse entre 0 y 3.3 volts. Para su uso basta poner en el argumento de la función el puerto donde estará ingresando la señal o en su defecto una constante representativa de este puerto.

### **4.3 Comunicación entre Launchpad TI y módulo ZigBee**

Como la tercer y cuarta etapa se trata de la comunicación inalámbrica por medio de la red ZigBee es necesario que el módulo ZigBee que funciona como transmisor reciba la información del microcontrolador .Debido que los módulos ZigBee más fáciles de conseguir en el mercado son los XBee, son los seleccionados para desarrollar el presente proyecto, a continuación se hace una breve descripción de dichos módulos y la manera que este se comunica con el microcontrolador en cuestión.

### 4.3.1 Módulo XBee

Los módulos XBee son soluciones integradas que otorgan un medio inalámbrico que proporciona conexión y comunicación soportado diferentes protocolos y radio frecuencias con dimensiones físicas bastante pequeñas. Son útiles para poder crear redes punto a punto, redes punto multipunto, redes en malla o redes celulares. Los módulos XBee son propiedad de la empresa Digi.

Debido a la gran cantidad de variantes de módulos Xbee que se pueden encontrar en el mercado la compañía Digi ofrece una tabla comparativa que es de gran utilidad para seleccionar el modulo adecuado para cada proyecto en específico. Una extracción de dicha tabla se encuentra en el Anexo 4.

#### 4.3.1.1 XBee Zigbee

Esta familia de dispositivos también es conocida como la serie 2 de XBee, XBee S2 o XBee ZB. Esta serie incluye soporte del protocolo Zigbee a diferencia de la familia XBee 802.15.4 también conocida la serie 1 de XBee que sólo funciona bajo el estándar 802.15.4.

Digi ha diseñado estos dispositivos XBee ZB tienen cargado el firmware ZigBee y fueron diseñados para satisfacer la necesidad de una red de sensores de bajo costo y bajo consumo de energía. XBee ZB opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz. Digi pone en el mercado además de la familia XBee ZB una variante de este que es la familia XBee ZB-PRO cuya diferencia radica en que XBee ZB-PRO provee un rango de cobertura mucho mayor. Dentro de los dispositivos disponibles en XBee ZB y XBee ZB-PRO existen varias opciones ya que estos pueden usar tecnología de inserción o montaje superficial ambos son de tamaños similares.

### 4.3.2 Comunicación serial y puerto UART

Para poder lograr una comunicación entre los dispositivos de manera serial, se utilizan los puertos UART (Transmisor-Receptor Asíncrono Universal) que toma los datos y los transmite en bits individuales, esto es más efectivo y útil que la comunicación en paralelo ya que solo se necesita un cable para establecer la comunicación.

### 4.3.3 Comunicación serial entre microcontrolador y módulo XBee

Para que el módulo XBee sea capaz de transmitir la información generada por el sensor de pulsos, es necesaria una comunicación entre dicho módulo y el microcontrolador encargado del procesamiento de la señal analógica proveniente del sensor. Debido a que ambos dispositivos cuentan con terminales asignados para la función de la comunicación serial se optó por utilizar estos puertos UART para establecer la comunicación entre el microcontrolador y el módulo XBee.

Se debe tener en cuenta que para la comunicación de manera serial es preciso que ambos dispositivos tengan un nivel de voltaje compatible; además, de estar configurados con parámetros compatibles tales como la tasa de transferencia de baud's, bit de paridad, bit de inicio, bit de termino y el número de bits de datos.

El software Energía cuenta con funciones dedicadas a la comunicación serial, por lo que se hizo uso de estas ya que facilitan el envío de la información.

Es preciso inicializarla de la siguiente manera:

```
Serial.begin()
```

En el argumento debe ir especificado la velocidad de transferencia, por otro lado para mandar datos a través del puerto UART se utiliza la función:

```
Serial.println()
```

El argumento de esta función es la información que se enviará de forma serial en código ASCII.

Es por eso que el microcontrolador está programado de tal manera que los datos procesados de la conversión analógico/digital son guardados en una variable que posteriormente es enviada utilizando la función “println” desde el transmisor UART hacia el receptor UART del módulo XBee.

A continuación se muestra el código generado para la lectura analógica/digital así como la transmisión mediante una comunicación serial:

```
const int analogInPin = A0;
const int analogOutPin = 9;
int sensorValue = 0;
int outputValue = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  sensorValue = analogRead(analogInPin);
  analogWrite(analogOutPin, outputValue);
  Serial.println(sensorValue);
  delay(100);
}
```

Como se puede observar en el código, el puerto A0 señalado como P1.0 es por donde la señal analógica entrará, el receptor y el transmisor UART serán los terminales P1.1 y P1.2 respectivamente y finalmente el P2.1 es utilizado como una salida analógica a modo de monitor de la señal entrante. El módulo XBee cuenta con terminales designados para la comunicación serial, los terminales 2 y 3 realizan la función de transmisión y recepción respectivamente.

#### 4.4 Configuración ZigBee

Para lograr que las etapas tercera y cuarta del proyecto funcione es preciso realizar algunas configuraciones en los módulos XBee para esto Digi pone a disposición una herramienta de software que facilita el enlace de dispositivos XBee llamada XCTU con su versión 6.3.5 , que ofrece una interfaz gráfica para la configuración de los parámetros requeridos en el protocolo Zigbee ,una consola de comandos para la recepción y transmisión de datos; también ofrece otras herramientas como analizador de espectros, prueba de alcance, recuperación de modulo, interprete y generador de tramas, entre otras.

Para la configuración de cada módulo XBee se realiza el siguiente procedimiento.

- En el menú principal se elige la opción descubrir dispositivos de radio
- Agregar los dispositivos encontrados en los puertos seriales.
- En la pantalla se muestran los dispositivos disponibles para usarse.
- Seleccionando uno de ellos nos llevará a la interfaz de configuración de parámetros.
- En este menú se encuentran múltiples configuraciones.
- Se necesita cambiar la jerarquía del dispositivo (enrutador, coordinador o dispositivo final) se debe actualizar el firmware correspondiente al rol deseado.

La red consta de un coordinador y un enrutador. Se procede a la configuración de los dispositivos empezando por el coordinador (fig. 4.5) y seguido por el enrutador (fig. 4.6) Los parámetros que fueron personalizados en relación a la configuración predeterminada son enlistados con sus respectivos valores.

- PAN ID (ID): su función es darle un identificador a la red fue configurado con valor aleatorio.
- SCAN CHANNELS(SC): cuando este campo tiene un valor de FFFF permite al dispositivo escanear los canales disponibles para elegir el más eficiente, por lo que se configuró con este valor.
- SCAN DURATION(SD): Es el valor del exponente que define el tiempo de escaneo que realiza el coordinador para encontrar dispositivos disponibles para integrarse a su red al inicializarse.
- ZIGBEE STACK PROFILE(ZS): selecciona la pila de protocolo que va a usar el dispositivo, que en este caso es un módulo ZigBee S2(serie 2)lo que requiere asignarle al campo de configuración el número 1.
- NODE JOIN TIME(NJ): determina el tiempo en segundos que el dispositivo permite que otros dispositivos se le unan. Se seleccionó el campo FF para que el coordinador permita la unión de dispositivos todo el tiempo.
- DESTINATION ADDRESS HIGH (DH): es la parte alta de la dirección física a la que el dispositivo en cuestión enviara los datos. Por ser un coordinador es conveniente la configuración como broadcast para enviar información a todos los esclavos, colocando el valor FFFF.
- DESTINATION ADDRESS LOW (DL) es la parte baja de la dirección física, funciona de igual forma que DH.
- NODE IDENTIFIER (NI) en este campo se indica el nombre del dispositivo en cuestión que en este caso es un coordinador.

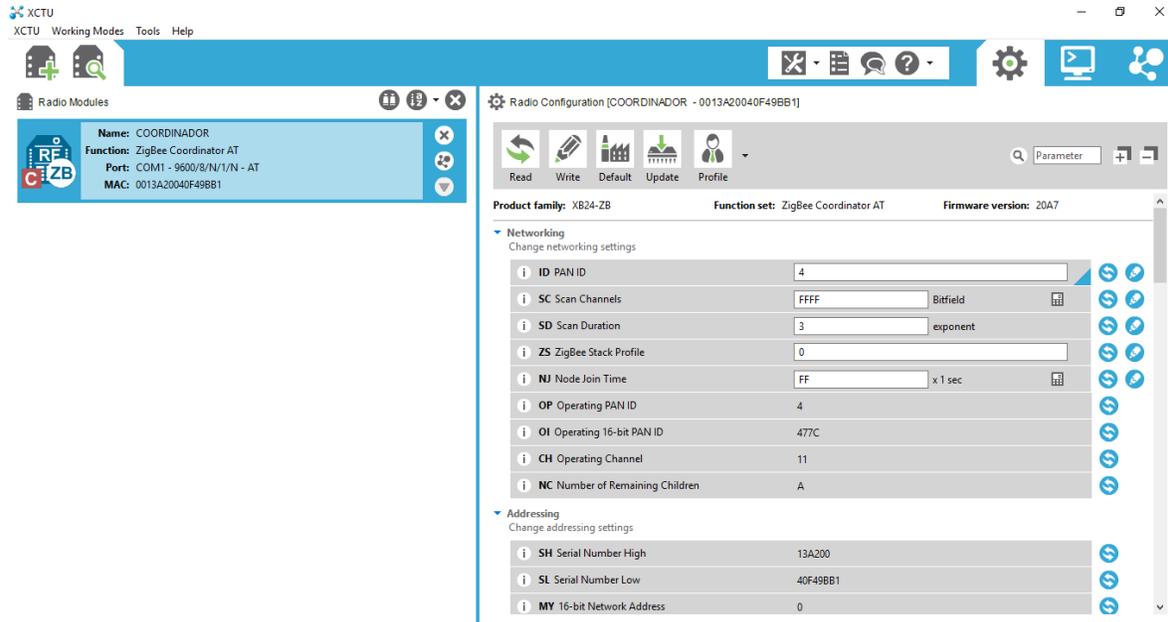


Figura 4.5 Configuración del coordinador

Para la configuración del enrutador se modificaron los mismos parámetros (figura 4.6) que para el coordinador pero variando sus valores en algunos casos, como lo es en DH y DI ya que al enrutador solo se le permite enviar información al coordinador; por lo tanto se colocan las direcciones físicas, alta y baja del coordinador. Lógicamente también es necesario modificar el nombre que identifica al dispositivo (NI).

- ID: 4
- SC: FFFF
- SD: 3
- ZS: 1
- NJ: FF
- DH: 13A200
- DL: 40F49BB1
- NI: ENRUTADOR1

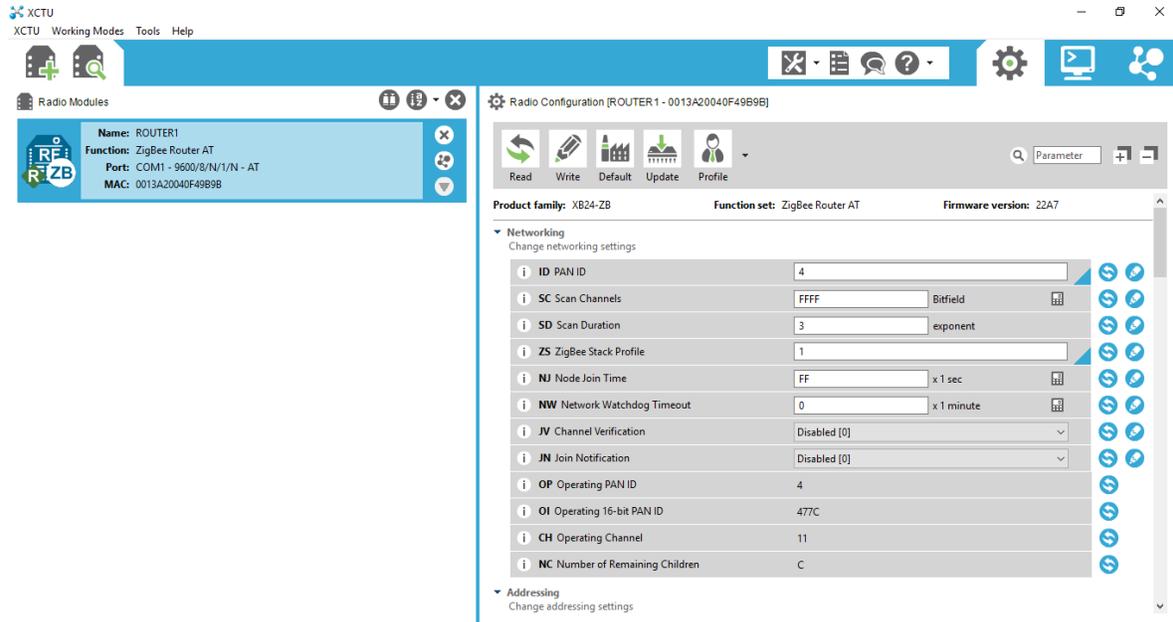


Figura 4.6 Configuración del enrutador.

## 4.5 Envío y recepción de la información entre módulos XBee.

Previamente realizada la configuración de los módulos XBee para colocarlos dentro de una misma red de comunicación, así como hecha la programación del microcontrolador, se conectan todos los elementos del sistema. Una vez identificado el correcto funcionamiento de cada uno de los dispositivos como se muestra en la figura 4.7, asegurando que las conexiones físicas y la alimentación estén operando de manera correcta se procede a las pruebas de transmisión y recepción de la información y de las mediciones obtenidas.

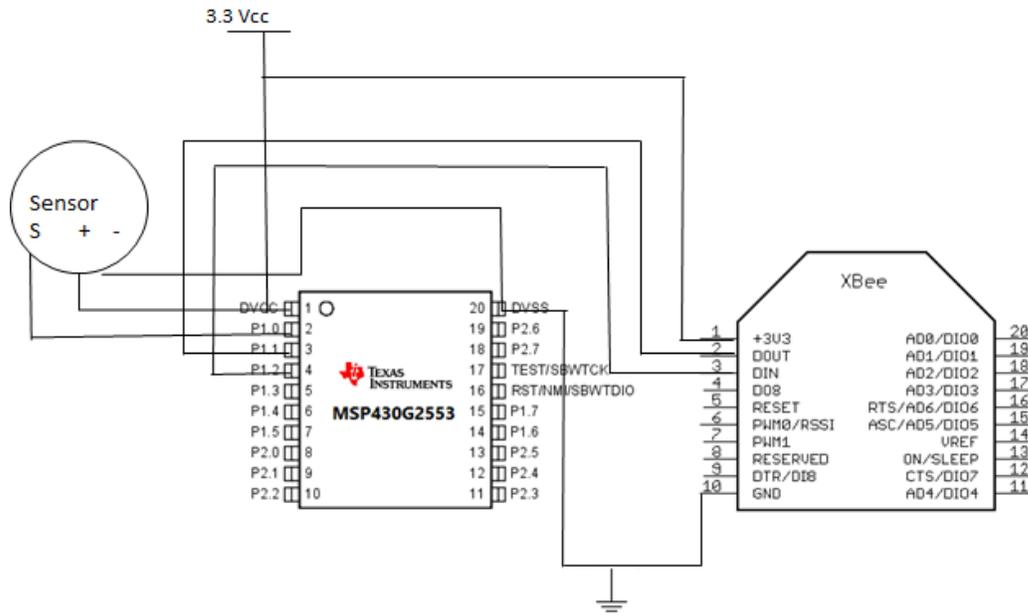


Figura 4.7 Diagrama de conexión del dispositivo terminal

Coordinador será el encargado de recibir los datos que el enrutador transmite de las mediciones hechas por el sensor, y dentro de sus funciones es encargado de transmitirle la información a una computadora para que ésta muestre la información de manera clara y grafica para ser interpretada por el usuario al que le corresponda realizar esta actividad. El módulo XBee Coordinador se conecta a la computadora a través del puerto serial COM1 usando la interfaz USB.

El software XCTU cuenta con una consola que permite observar la información que se recibe, ya sea en código ASCII o de forma hexadecimal, también permite mediante comandos configurar tanto el XBee conectado alámbradamente como los conectados a la red inalámbrica.

En este caso se utiliza para observar los datos que está generando el microcontrolador al hacer la conversión A/D. Como es de esperarse se reciben valores en un rango de 0 a 1024 que son los valores que el microcontrolador utiliza para la codificación de las muestras analógicas.

En la figura 4.8 se observa una imagen de la consola del XCTU de como la información está siendo transmitida y recibida a través de los módulos (enrutador a coordinador).

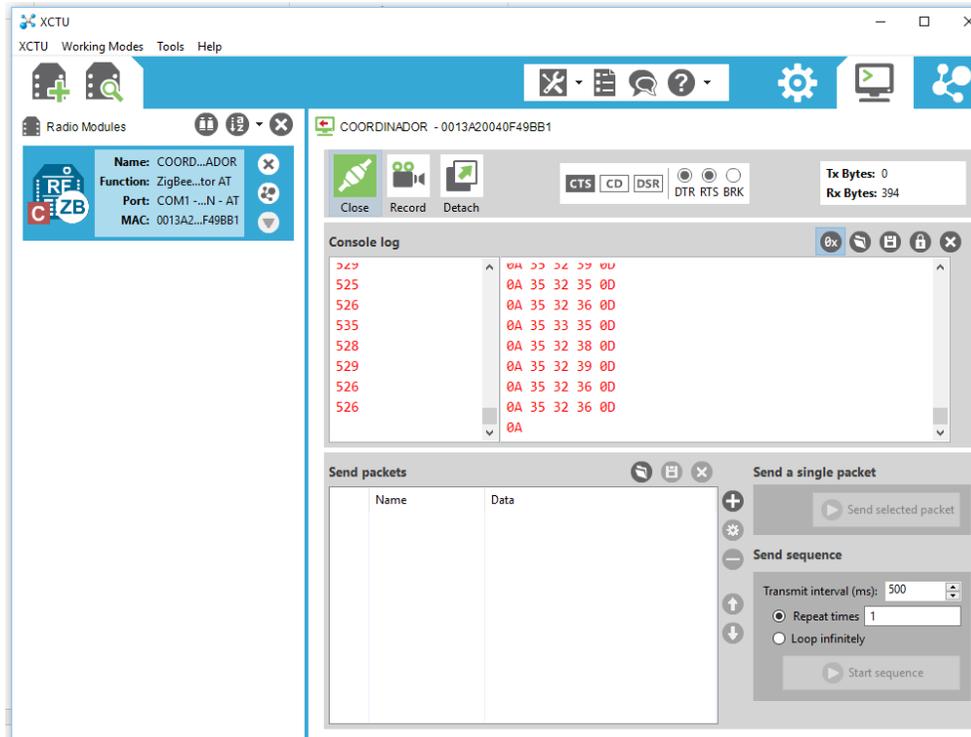


Figura 4.8 Recepción de información en consola XCTU.

## 4.6 Recuperación e Interpretación de la información

Una vez que la información ha llegado al coordinador es enviada de manera serial a la computadora pero esto requiere de una interfaz gráfica para poder ser apreciada por un usuario capacitado para ello, ya que de no existir dicha interfaz solo se vería una secuencia de números incomprensible para cualquier usuario, se puede decir que es esto es lo que concierne a la quinta etapa del proyecto.

Por tal motivo es necesario usar un lenguaje de programación que ofrezca la posibilidad de leer datos y presentarlos en una gráfica en tiempo real. Debido a que Python es un lenguaje de programación de código abierto pone a disposición de los programadores una gran gama de bibliotecas que facilitan en demasía el desarrollo de aplicaciones para usos específicos. Por tal motivo la interfaz se crea por medio de un programa en Python en su versión 2.7.9.

Entre las bibliotecas que ofrece Python se eligen para afectos del proyecto.

- Time
- Matplotlib
- Serial

Se debe mencionar que para el caso de las bibliotecas Matplotlib y Serial, estas deben ser instaladas antes de que se intente utilizarlas en un programa. De igual manera hay que resaltar que Matplotlib, es una librería que facilita el trabajo de las gráficas por medio de sus diferentes funciones, por otro lado Serial permite la interacción con los puertos seriales de la computadora y por su parte la librería Time permite trabajar con funciones de tiempo.

El programa de aplicación que se desarrolló básicamente realiza la lectura del puerto serial "COM1", previamente hay que hacer una configuración con el administrador de dispositivos de Windows para que se le asigne este puerto a la conexión que la computadora hace con el módulo XBee.

Realizada la lectura del puerto serial, se guarda en una lista que es declarada previamente, inmediatamente se guarda también el tiempo de ejecución del programa en otra lista, ya con valores en la lista se usa algunas funciones para hacer una gráfica del valor en el puerto serial que es el valor representativo de la señal eléctrica generada por el sensor. Esta iteración se repite dentro de un ciclo while, básicamente funciona siguiendo el diagrama de flujo que está presente en la figura 4.9.

El código generado para realizar el procedimiento descrito es el siguiente:

```
#! -- coding: utf-8 --
import time
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import serial
plt.ion()
valor = []
grafica = []
tiempo = []
puerto=serial.Serial('COM1',9600,timeout = 0.125)
n = 0
while(True):
    n += 1
    grafica = []
    while(time.clock()<10*n):
        volt = puerto.readline()
        t = time.clock()
        try:
            volt = float(volt)
        except:
            volt = 0
        print volt
        print t
        grafica.append(volt)
        valor.append(volt)
        tiempo.append(t)
        if(volt >= 650):
            plt.plot(tiempo,grafica)
            plt.ylim(0,1100)
            plt.xlim((n-1)*10,n*10)
            plt.show()
            plt.pause(0.05)
            plt.cla()
```

En el código se observa la declaración de las bibliotecas serial, time y matplotlib, de matplotlib se importan las funciones de plt. Se declara también dos listas que sirven para guardar los valores obtenidos, valor para el dato que entra en el puerto serial y tiempo para asociarlo con instante de tiempo, la variable puerto se declara para utilizar el puerto serial 1, a una velocidad de 9600 bauds.

Se inicializa en un ciclo while infinito donde se realiza la lectura del puerto con la función readline() que es guardada en una variable volt , así como la captura del tiempo de ejecución en otra variable llamada t, estas dos últimas variables son añadidas en sus respectivas listas con la función append(), con la función plt.plot() se crea una gráfica con los valores contenidos en la lista, plt.show() muestra en pantalla la gráfica obtenida. Debe notarse que al inicio del programa se inicializa la función plt.ion() para activar la función iterativa de "plt".

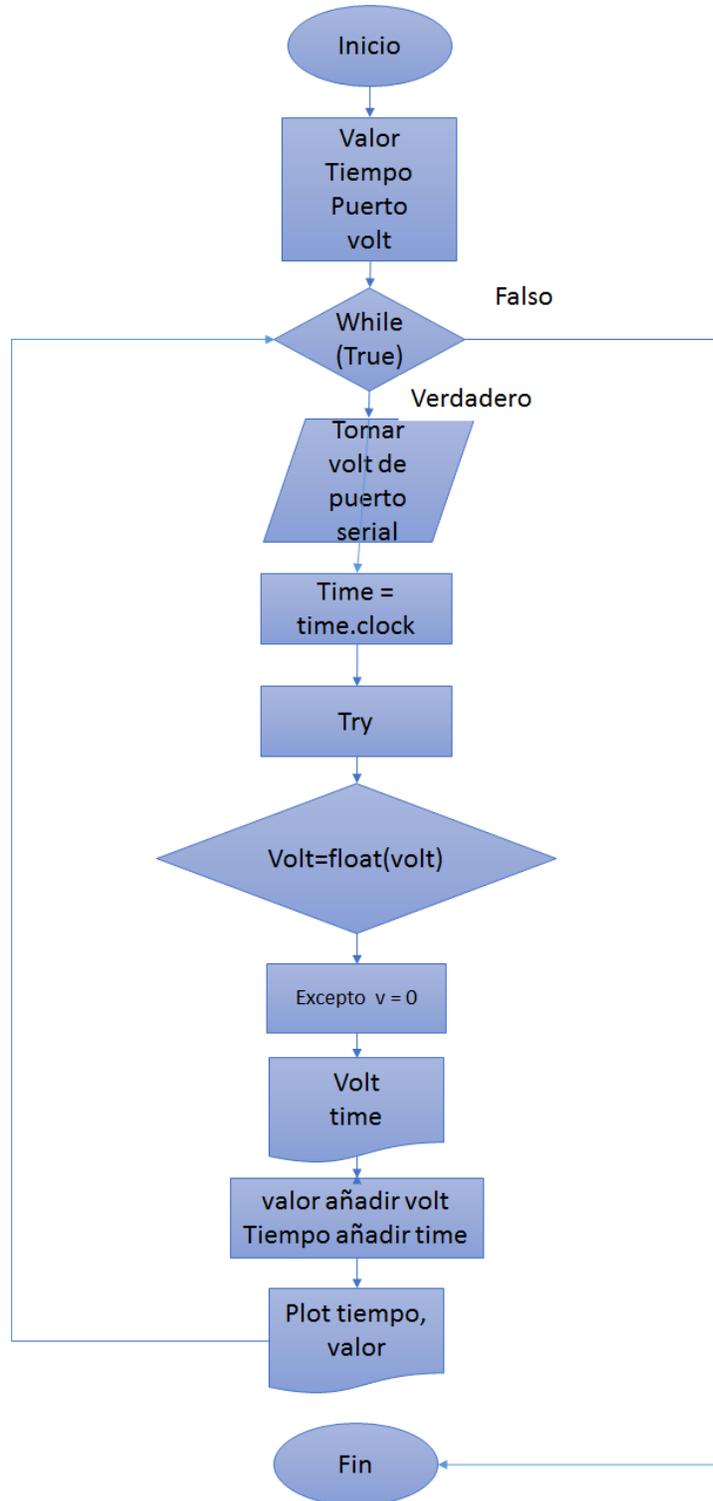


Figura 4.9 Diagrama de flujo de la aplicación

Así que después al ejecutar el programa se debe obtener una gráfica del valor del dato en el puerto serial con respecto al tiempo en tiempo real.

## 4.7 Pruebas

Para verificar el funcionamiento el prototipo final del sistema de monitoreo, se somete a prueba el mismo. Primero se realizó una prueba de funcionamiento, para comprobar que la señal eléctrica proveniente del sensor puede ser reconstruida de manera fiel por el programa de aplicación después de pasar por todas las etapas del proyecto.

Otra prueba consiste en observar el comportamiento de la red inalámbrica en dos diferentes escenarios, en campo abierto y en interiores, ósea que se evalúa el funcionamiento del prototipo tanto en línea de vista como en un ambiente con obstáculos en ambos casos haciendo variar la distancia a las que se nombra como prueba de rango.

### 4.7.1 Prueba de funcionamiento

Para realizar la prueba de funcionamiento del prototipo se verifica que todas las partes del prototipo estén conectados correctamente, esto se refiere a conectar en las terminales del microcontrolador ya especificados el sensor y los puertos de comunicación serial entre el XBee enrutador o transmisor y el microcontrolador, estos tres dispositivos se alimentan con la misma fuente con un valor de 3.3 Vcc. Además conectar el XBee receptor o coordinador debe estar conectado a la computadora que corre el programa diseñado.

Con el sistema energizado se procede a realizar la prueba colocando el sensor en el dedo índice de tres personas, esto arroja como resultado una gráfica generada por el programa que se puede observar en la figura 4.10; sin embargo, debido a que la interfaz gráfica de la aplicación desarrollada sufre un retraso considerable con respecto a la velocidad de la llegada de los datos al receptor y la toma de las muestras en el sensor, no permite realizar una medición precisa de los latidos por minuto.

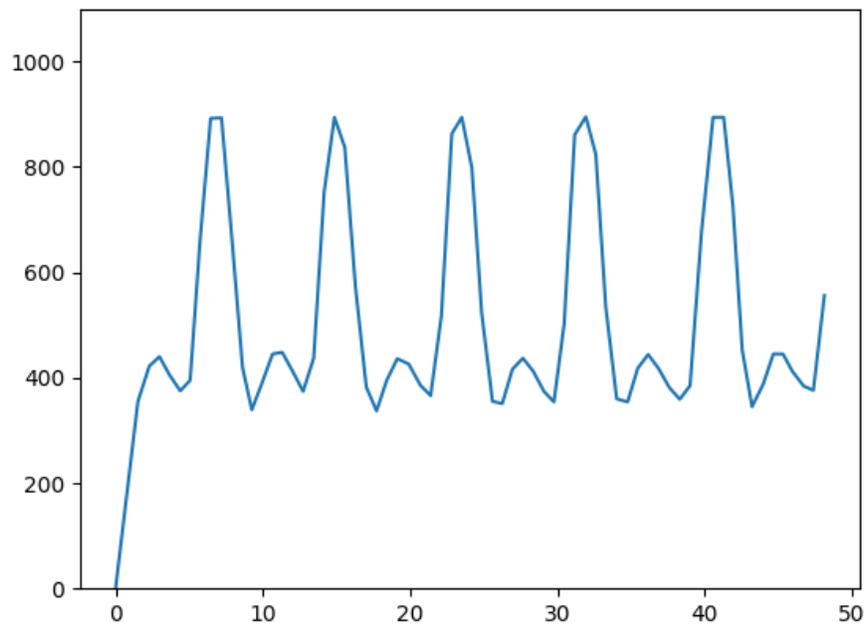


Figura 4.10 Grafica generada por el programa

## 4.7.2 Pruebas de rango

Se mencionó que el software XCTU ofrece entre su gama de herramientas una que permite medir la intensidad con la que una señal de prueba llega hasta el dispositivo receptor además de que calcular número de paquetes recibidos o perdidos, esta herramienta está bajo el nombre de RANGE TEST.

Es por eso que se usa esta herramienta para evaluar el funcionamiento de la red, en dos ambientes interior y línea de vista.

### 4.7.2.1 Prueba de rango a línea de vista

Como se puede consultar en el Anexo 3 sobre los módulos XBee usados en el prototipo, estos tienen un rango máximo de distancia de 120 metros, por lo que se realizan mediciones con el RANGE TEST variando la distancia hasta llegar el rango máximo, para observar el comportamiento de la señal en potencia y en el número de paquetes perdidos y recibidos.

Para visualizar estos datos se concentran en la tabla 4.2; sin embargo, al realizarse las pruebas se obtuvo que a partir de los 60 metros de distancia los paquetes de prueba se pierdan en su totalidad por lo que en la tabla solo se muestra hasta ese valor.

Se puede apreciar en la figura 4.11 la herramienta RANGE TEST en funcionamiento cuando se tomó a una distancia de 5 metros, en la figura 4.12 a 30 metro y en la figura 4.13 a 50 metros. Adicional a esto, también se ve en las figuras 4.14 y 4.15 el lugar donde las pruebas se llevaron a cabo.

Tabla 4.2 Resultados de prueba de rango a línea de vista

Numero de prueba	Distancia (m)	Paquetes enviados	Paquetes recibidos	Porcentaje de paquetes recibidos (%)	Rango de potencia recibida (dBm)	
1	5	20	20	100	-65	-67
2	10	20	19	95	-67	-73
3	20	20	20	100	-73	-83
4	30	20	16	80	-92	-94
5	40	20	10	50	-90	-94
6	50	20	18	90	-93	-93
7	60	20	0	0	<-100	

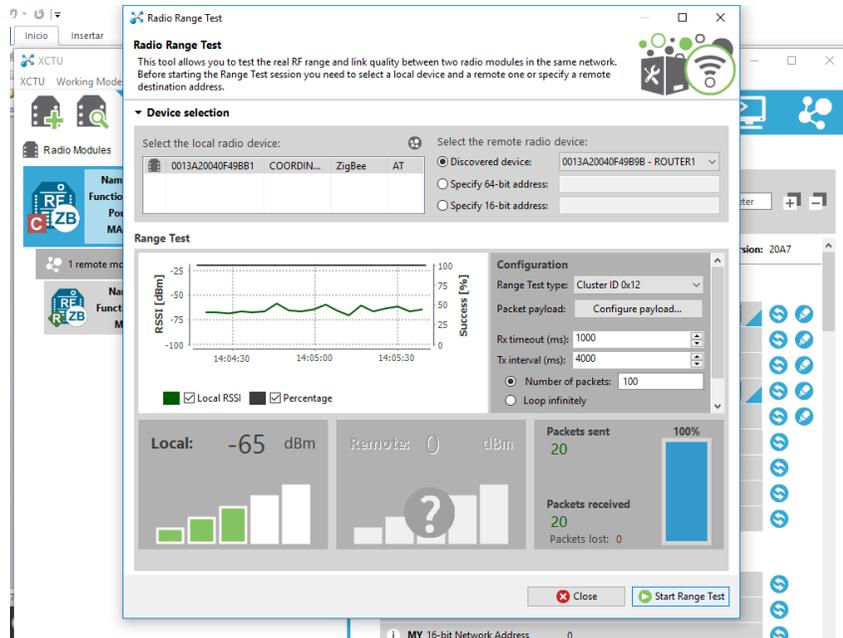


Figura 4.11 Prueba de distancia en línea de vista a 5 metros

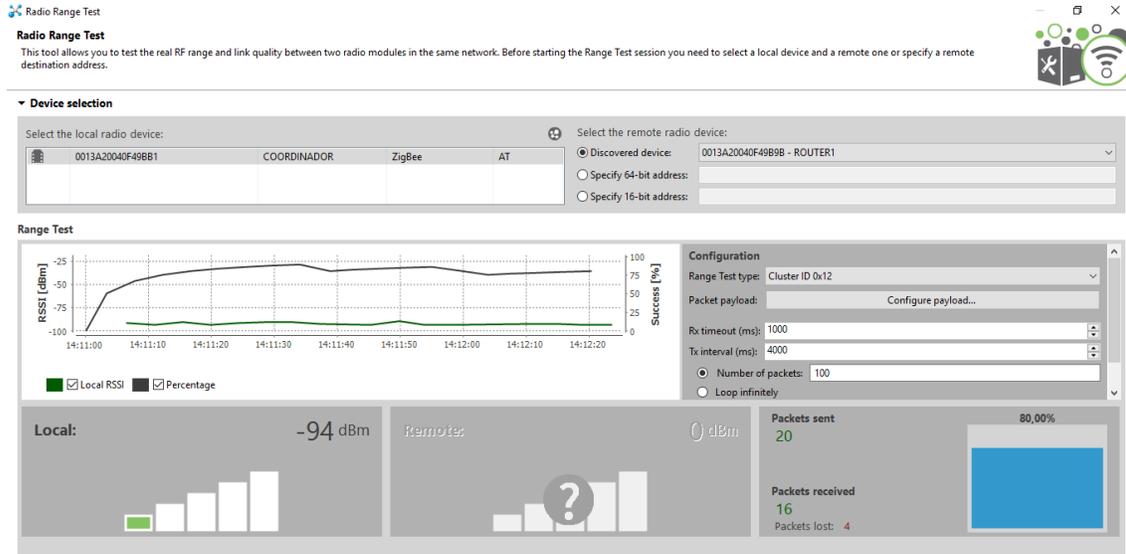


Figura 4.12 Prueba de distancia en línea de vista a 30 metros

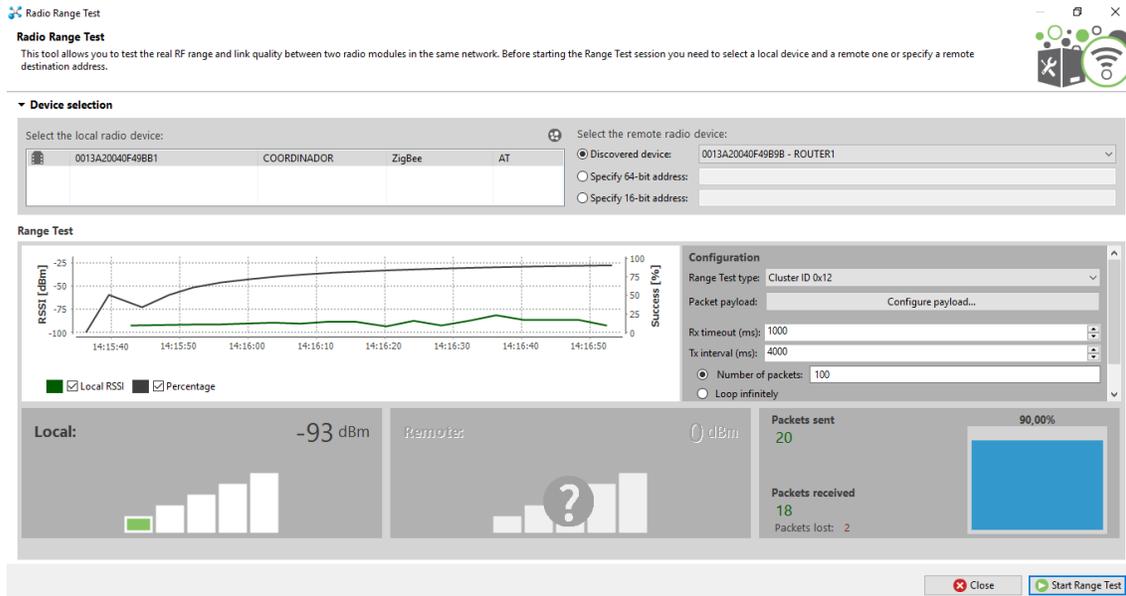


Figura 4.13 Prueba de distancia en línea de vista a 50 metros



Figura 4.14 Espacio donde se llevó a cabo la prueba

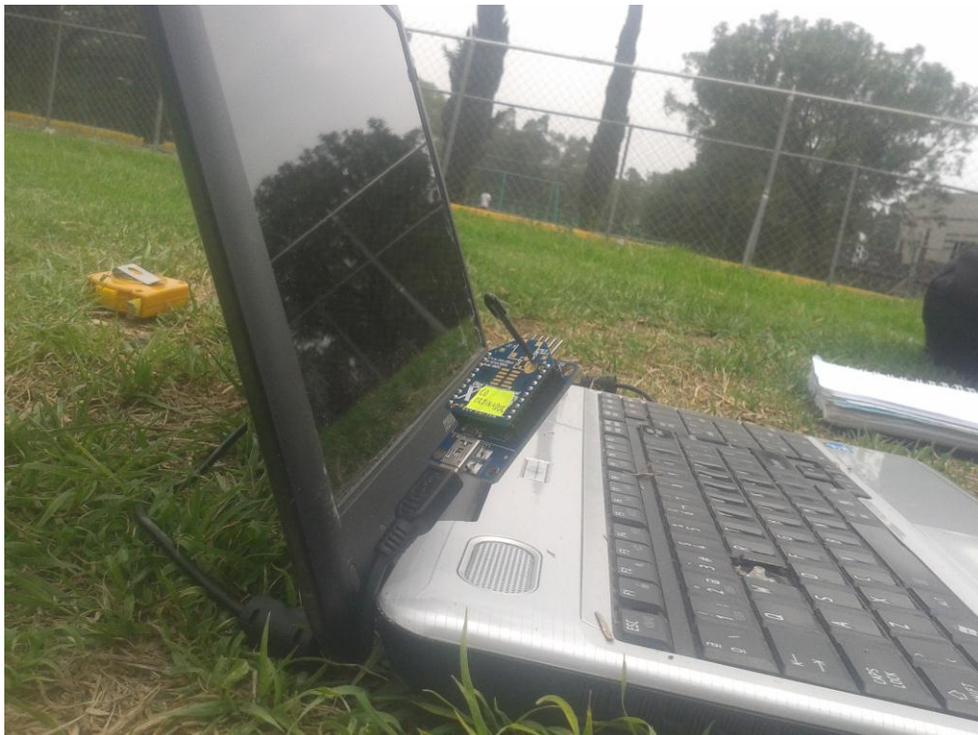


Figura 4.15 fotografía del dispositivo XBee en el lugar de prueba

4.7.2.2 Prueba de rango en interior

De igual manera se puede consultar en el Anexo 3 que en interiores la distancia máxima en la cual puede trabajar los módulos se ve drásticamente reducida a 40 metros, se realizan pruebas similares a las anteriores para poner a prueba la red en el interior de un edificio con personas, los resultados se encuentran concentrados en la tabla 4.3, y las figuras 4.19 y 4.20 se aprecia el lugar donde la prueba de rango en interiores se llevó a cabo, además en la figura 4.15 se muestra una de las mediciones realizada a 5 metros, en la figura 4.16 a 20 metros, en la 4.17 y 4.18 a 40 metros y 50 metros respectivamente.

Tabla 4.3 Resultados de prueba de rango a línea de vista

Numero de prueba	Distancia (m)	Paquetes enviados	Paquetes recibidos	Porcentaje de paquetes recibidos (%)	Rango de potencia recibida (dBm)	
1	5	20	20	100	-64	-68
2	10	20	20	100	-74	-71
3	20	20	20	100	-68	-69
4	30	20	20	100	-67	-67
5	40	20	19	95	-86	-89
6	50	20	1	5	-86	-86

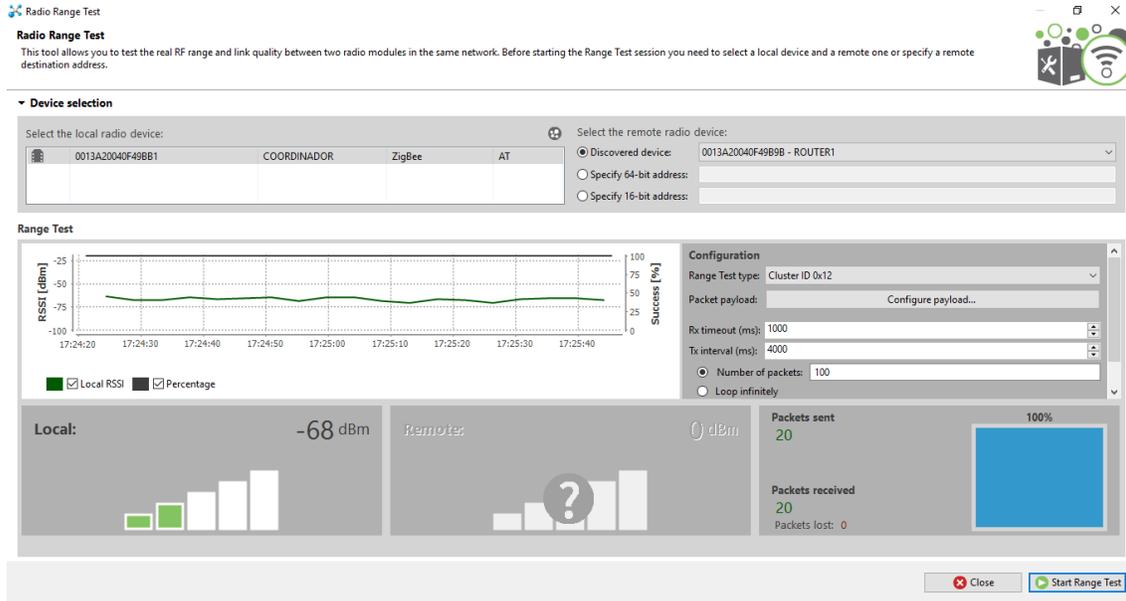


Figura 4.16 Prueba de distancia en interior a 20 metros.

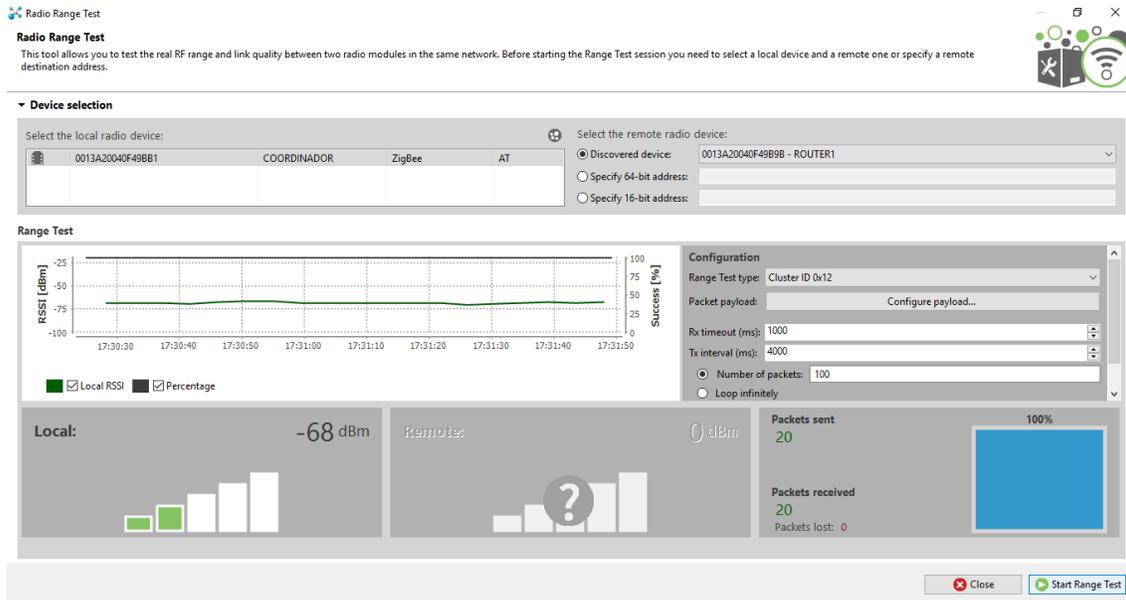


Figura 4.17 Prueba de distancia en interior a 40 metros.

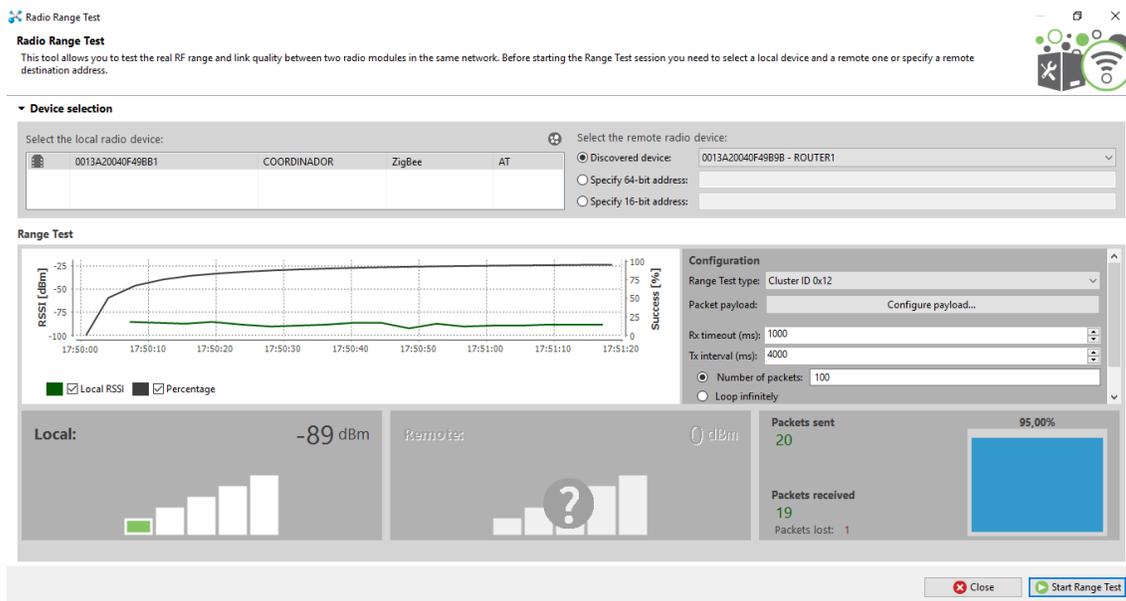


Figura 4.18 Prueba de distancia en interior a 50 metros.

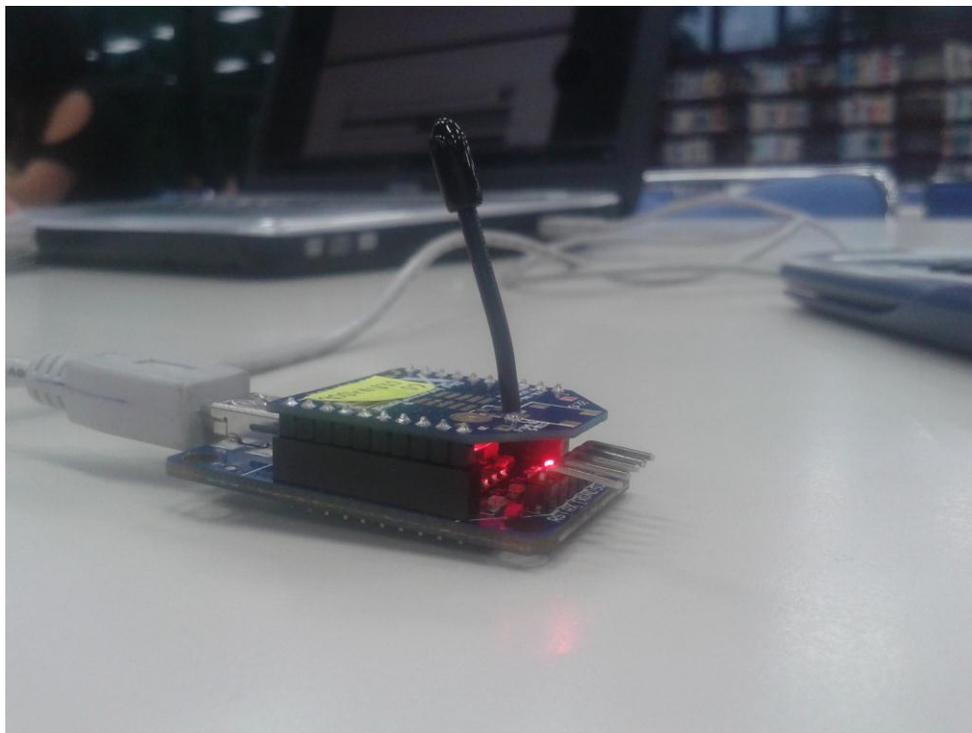


Figura 4.19 Dispositivo XBee en prueba de interior.



Figura 4.20 Espacio donde se realizó prueba de interior.

#### 4.7.2.3 Comparación de comportamiento

Con la ayuda de una gráfica para cada una de las pruebas de rango realizadas se puede hacer un análisis del comportamiento de los enlaces con módulos XBee, estas gráficas son la figura 4.21 para exteriores en función de la potencia recibida expresada en dBm y la figura 4.22 en función del porcentaje de paquetes recibidos.

De manera similar para interiores está la figura 4.23 en función de la potencia expresada en dBm y la figura 4.24 en función del porcentaje de paquetes recibidos.

Además, en la tabla 4.4 aprecia una tabla comparativa del comportamiento del sistema que incluye la variación en distancia del experimento y el porcentaje de paquetes entregados de manera correcta en ambos casos, donde se puede ver una mayor eficiencia cuando el sistema se encuentra dentro de un inmueble.



Figura 4.21 Potencia en prueba de línea de vista.

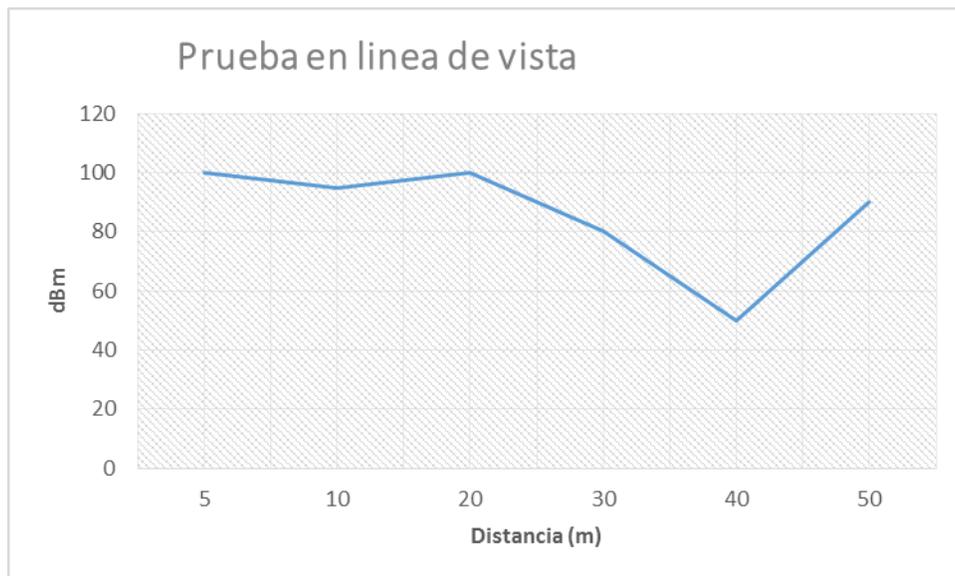


Figura 4.22 Porcentaje de éxito de línea de vista.

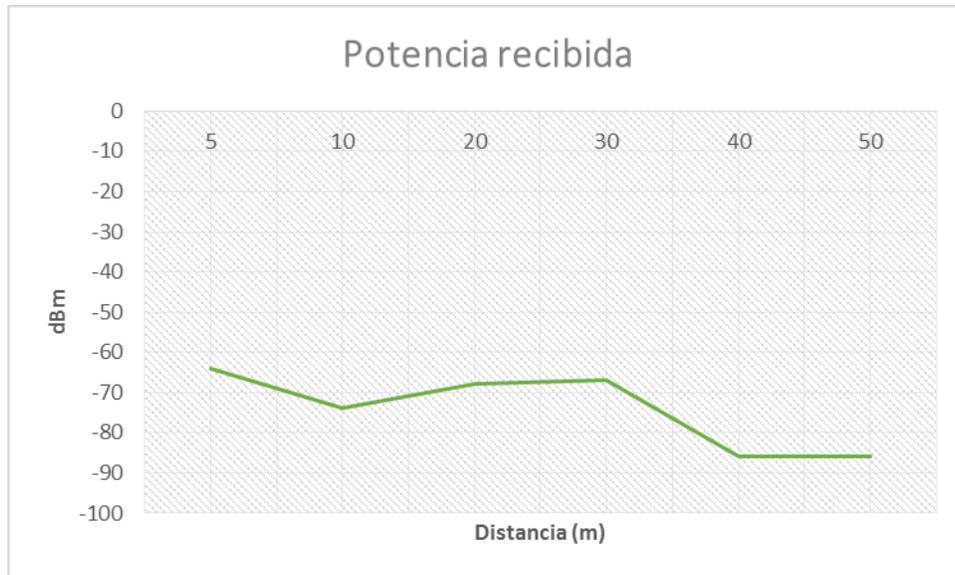


Figura 4.23 Potencia en prueba de interior.

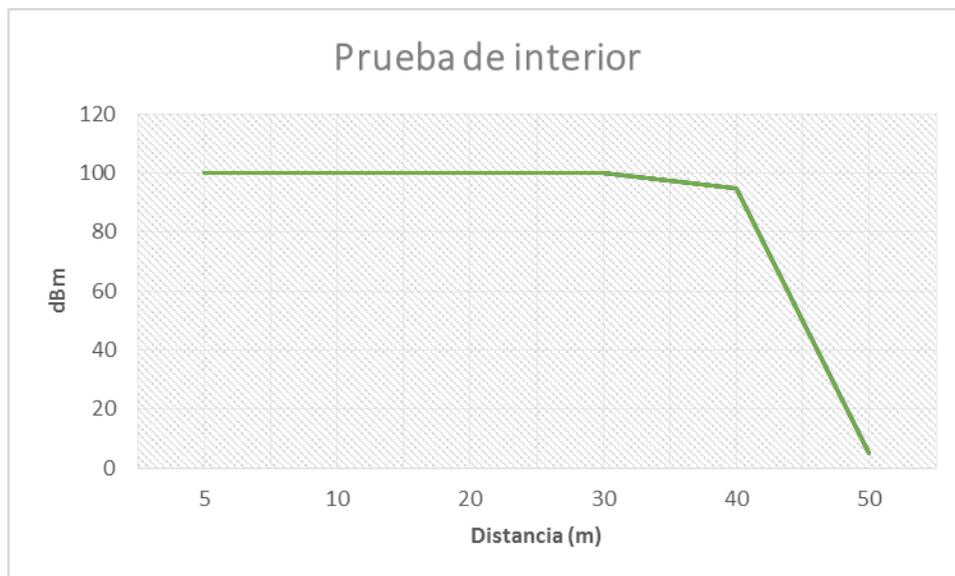


Figura 4.24 Porcentaje de éxito en interior.

Tabla 4.4 Comparación de eficiencia.

Distancia(m)	Porcentaje de paquetes recibidos (%)	
	Línea de vista	Interior
5	100	100
10	95	100
20	100	100
30	80	100
40	50	95
50	90	5
60	0	-

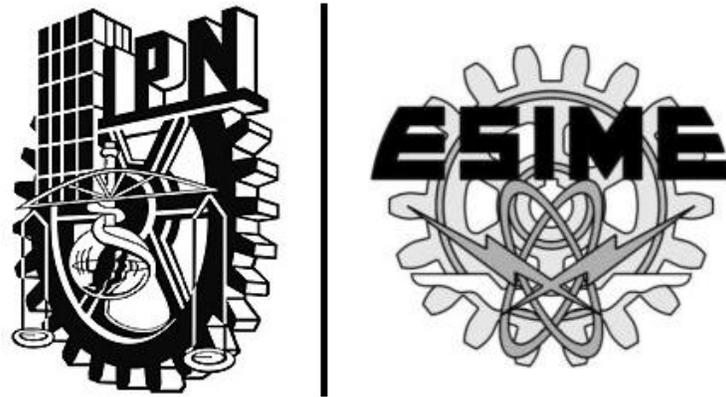
### 4.8 Coexistencia con equipo médico

La interferencia electromagnética es un fenómeno físico en el cual dos o más ondas se superponen, dando como resultado una onda de menor o mayor amplitud; es decir, dos ondas de la misma amplitud y frecuencia se suman formando una sola onda con el doble de amplitud a las originales emitidas por cierta fuente de emisión electromagnética. La interferencia puede provocar que en la comunicación entre equipos que usan la emisión electromagnética como medio de transmisión existan problemas para cumplir su cometido. La interferencia entre aparatos de comunicación móvil o simplemente de aparatos de comunicación inalámbrica y equipo médico hospitalario puede afectar considerablemente el correcto funcionamiento de estos últimos poniendo en riesgo la función que estos desempeñan en el cuidado y recuperación de pacientes.

Existen dos categorías de acuerdo con la importancia de los equipos médico: el de monitoreo crítico que está diseñado para mediciones y obtención de datos cuando un paciente se encuentra en un estado delicado de salud y su vida peligran. El monitoreo no crítico realiza funciones de medición que no son vitales para el paciente o cuando la vida de este no corre peligro. Una de las principales necesidades en el diseño de dispositivos y en la instrumentación de uso médico es el blindaje con el que estos cuentan para evitar interferencias con fuentes externas, así como el ruido que pueda añadirse a las tomas de signos vitales en los pacientes.

Existen especificaciones para el uso de dispositivos móviles e inalámbricos las cuales detallan la densidad de campo eléctrico en el que cada grupo presenta inmunidad a las alteraciones causadas por la radiación electromagnética.

Esta densidad de campo eléctrico está directamente relacionada con la potencia que utiliza cada dispositivo para transmitir la información. El módulo Xbee utiliza una baja potencia de transmisión la cual es despreciable para los estándares de calidad en el blindaje de equipos médicos. Un nodo de comunicación inalámbrica por Zigbee nos da una potencia de salida de 0 dBm, que es muy baja si la comparamos con el estándar 802.11g que utiliza una potencia de transmisión a la salida de 12 a 18 dBm.



# CONCLUSIONES

En base a los resultados de las pruebas realizadas, que demuestran que la red ZigBee trabaja de manera eficiente en el interior de un inmueble, donde existen múltiples y diversos obstáculos tales como personas, muros, ventanas y todo tipo de estructuras que lo conformen, alcanzando distancias óptimas para la transmisión de los datos en un rango de hasta 50 metros.

El sistema de monitoreo es capaz de funcionar adecuadamente en el entorno en el cual se desea implementar.

Por lo tanto, tomando en cuenta la estructura y dimensiones de una sala de urgencias se puede implementar la red de monitoreo en un ambiente de tales características.

Gracias a que el funcionamiento de la red es adecuado para la transmisión de datos entre los dispositivos que actúan de manera inalámbrica y en tiempo real, hace posible la recolección de información que arrojan los signos vitales, en específico y para éste proyecto en particular la señal cardíaca de un cuerpo humano y que ésta viaje a través de la red de manera íntegra, confiable y segura para ser interpretada.

A pesar de que la información se transporta en tiempo real y de manera íntegra al punto remoto donde se hace la interpretación de las muestras tomadas por el sensor, el software utilizado para el desarrollo de la aplicación presenta un déficit ya que presenta un retardo en tiempo en relación a la velocidad real en que se están tomando y recibiendo las muestras.

## Trabajo a futuro

El proyecto tiene un gran potencial ya que sienta las bases para el desarrollo de un sistema más complejo con sus debidas adecuaciones de acuerdo a las necesidades que se presenten.

Algunas mejoras que se proponen son:

- Aumentar el número de usuarios en la red.
- Incrementar la cantidad de señales biológicas a medir como lo pueden ser: respiraciones por minuto, temperatura, presión arterial, saturación de oxígeno, etc.
- Salvar la información en una base de datos que arroje cifras y resultados, y que la información esté disponible para cualquier persona capacitada y autorizada desde cualquier punto geográficamente hablando.
- La implementación del sistema para pacientes fuera de hospitales que requieran de un monitoreo de su salud.

Tomando en cuenta todos los beneficios y las mejoras propuestas, sería más viable contar con un sistema de este tipo; automatizado, en tiempo real. Sería más exacto y preciso al tomar mediciones a diferencia de tener la necesidad de contratar más personal por los gastos y tiempos que éste demanda.

## Índice de Figuras

Figura 1.1 Red LAN.

Figura 1.2 Red WAN.

Figura 1.3 Dispositivos asociados con las redes PAN.

Figura 1.4 Bandas de frecuencias libres por región.

Figura 1.5 Diferentes conexiones posibles de una red PAN.

Figura 1.6 Aplicaciones redes BAN.

Figura 1.7 Capas del protocolo ZigBee.

Figura 1.8 Tasa de transferencia de datos.

Figura 1.9 Capa física.

Figura 1.10 La estructura del marco de la capa MAC.

Figura 1.11 La estructura de la trama de datos.

Figura 1.12 Reconocimiento de la estructura de la trama.

Figura 1.13 Estructura de la trama de comandos.

Figura 2.1 Arquitectura de Von Neumann.

Figura 2.2 Arquitectura Harvard.

Figura 2.3 Arquitectura MSP430.

Figura 3.1 Coeficiente de extinción.

Figura 3.2 Luz absorbida por el cuerpo humano.

Figura 3.3 Señal típica de un pulsioxímetro.

Figura 4.1 Diagrama del proceso de desarrollo.

Figura 4.2 Sensor de pulsos con accesorios.

Figura 4.3.1 Medición del sensor con osciloscopio digital.

Figura 4.3.2 Gráfica de la señal del pulso cardíaco.

Figura 4.4 Esquema eléctrico de filtro pasabajas.

Figura 4.5 Configuración del coordinador.

Figura 4.6 Configuración del enrutador.

Figura 4.7 Diagrama de conexión del dispositivo terminal.

Figura 4.8 Recepción de información en consola XTCU.

Figura 4.9 Diagrama de flujo de la aplicación.

Figura 4.10 Gráfica generada por el programa.

Figura 4.11 Prueba de distancia en línea de vista a 5 metros.

Figura 4.12 Prueba de distancia en línea de vista a 30 metros.

Figura 4.13 Prueba de distancia en línea de vista a 50 metros.

Figura 4.14 Espacio donde se llevó a cabo la prueba.

Figura 4.15 Fotografía del dispositivo XBee en el lugar de prueba.

Figura 4.16 Prueba de distancia en interior a 20 metros.

Figura 4.17 Prueba de distancia en interior a 40 metros.

Figura 4.18 Prueba de distancia en interior a 50 metros.

Figura 4.19 Dispositivo XBee en prueba de interior.

Figura 4.20 Espacio donde se realizó prueba de interior.

Figura 4.21 Potencia en prueba de línea de vista.

Figura 4.22 Porcentaje de éxito de línea de vista.

Figura 4.23 Potencia en prueba de interior.

Figura 4.24 Porcentaje de éxito en interior.

Figura 7.1 Sensor de pulso cardíaco.

Figura 7.2 Esquema eléctrico sensor de pulsos.

Figura 7.3 Terminales de Entrada/Salida, MSP430G2x13 y MSP430G2x53, Dispositivos de 20 Terminales.

Figura 7.4 Dibujo mecánico del XBee.

## Índice de Tablas

Tabla 1.1 Frecuencias y tasas de operación del estándar ZigBee.

Tabla 2.1 Comparación entre Launchpad y Arduino.

Tabla 3.1 Valores normales del pulso cardiaco.

Tabla 4.1 Resultado de las mediciones obtenidas por el sensor.

Tabla 4.2 Resultados de prueba de rango a línea de vista.

Tabla 4.3 Resultados de prueba de rango a línea de vista.

Tabla 4.4 Comparación de eficiencia.

Tabla 7.1 Componentes del sensor de pulso.

Tabla 7.2 Funciones de terminales del MSP430G2553.

Tabla 7.3 Especificaciones del módulo XBee.

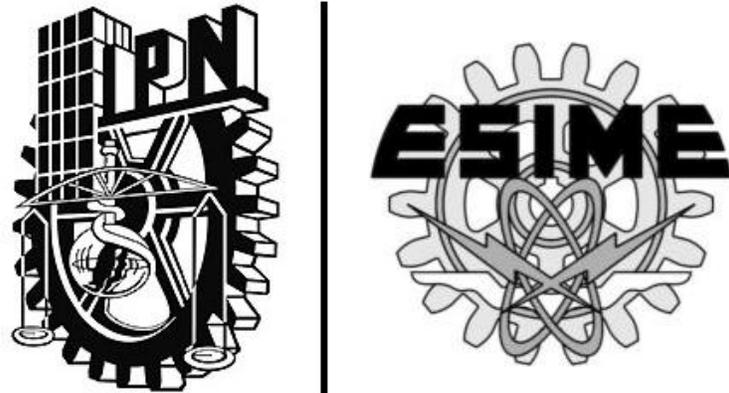
Tabla 7.4. Distribución de entradas y salidas del dispositivo XBee.

Tabla 7.5. Comparación de módulos Xbee.

## Acrónimos

ACLK	Auxiliar Clock
APDU	Application Support Sublayer Protocol DataUnit
APL	Application Layer
APS	Application Support Sublayer
ASK	Amplitude Shift Keying
BAN	Body Area Network
BPSK	Binary Phase-Shift Keying
CPU	Unidad Central de Procesos
DCO	Digital Control Oscillator
DSL	Línea de Suscripción Digital
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FCS	Frame Check Sequence
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FFDs	Full-Function Device
GTS	Guaranteed Time Slot
HDR	Header
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Protocólo de Internet
LAN	Local Area Network
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MCLK	Main Clock
MFR	MAC Footer
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MSP	Mixed Signal Processor
NWK	Network Layer
OSI	Open Systems Interconnection
O-QPSK	Offset Quadrature Phase-Shift Keying
PAN	Personal Area Network

PHY	Physical Layer
PHR	PHY Header
PDA	Personal Digital Assistant
PD-SAP	PHY Data Service Access Point
PSDU	PHY Service Data Unit
QoS	Quality of Service
RF	Radio Frequency
RFD	Reduced Function Device
SDH	Jerarquía Digital Síncrona
SFD	Start-of-Frame Delimiter
SHR	Synchronization Header
SNR	Signal to Noise Relation
VoIP	Voz sobre IP
VPN	Virtual Private Network
WAN	Redes de área amplia
WLAN	Redes inalámbricas de área local



# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Black, Uyless. Tecnologías emergentes para redes de computadoras. Prentice Hall Hispanoamericana. 199.268
- [2] Clark, Martin P.. Network and Telecommunications. Wiley Editorial. 1991
- [3] Farahani, Shahin. Zigbee Wireless Networks and Transceivers. Elsevier. 2008.364.
- [4] Forouzan, Behrouz A. Trasnmisión de datos y redes de comunicaciones. McGraw Hill. 2002.926
- [5] Huidobro Moya, Jose Manuel. Redes y servicios de telecomunicaciones. Thomson Paraninfo. 2006.884
- [6] Leon Garcia, Alberto. Communications Networks Fundamental Concepts and key architecture. McGrwaHill. 2000
- [7] Prasad, Ramjee y Muñoz, Luis. WLANs and WPANs towards 4G Wireless. Artech House. 2013.621
- [8] Silverthorn Dee Unglaub. Fisiología Humana : Un enfoque integrado. Editorial Medica Panamericana. 2008.985
- [9] Tanenbaum, Andrew S. y Wetherall, David J. Redes de computadoras. Pearson. 2012.816
- [10] Tortora Gerard J. y Derrickson Bryan. Principios de Anatomía y Fisiología. Editorial Medica Panamericana. 1220
- [11] USERS. Microcontroladores. Buenos Aires, Argentina. RedUSERS. 2011.192

## Referencias

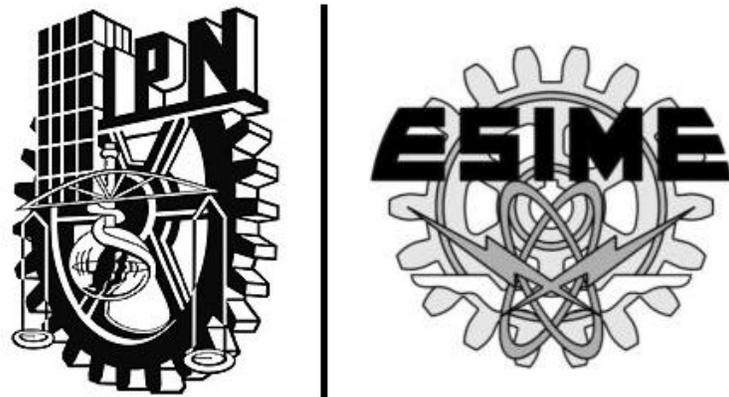
- [12] CISCO.Cisco Networking Academy Program. CCNA 1 and 2.Version 3.1
- [13] USERS.Microcontroladores.Buenos Aires, Argentina.RedUSERS.2011.192
- [14] Ing .Daissy Carola Toloza Cano. .Proyecto de investigacion y desarrollo diseño y construccion de un monitor de signoss vitales basado en un computador portatil.
- [15] Grupo de investigación Dalcame[En línea].2007<  
[http://www.dalcame.com/monitor.html#.WRpv\\_WiGOUk](http://www.dalcame.com/monitor.html#.WRpv_WiGOUk) >[2017]
- [16] Ivan Arneas Sosa y Jose Luis Lopez Sanchez.Cuso Metodos de laboratorio espectrofotometria de absorcion.Instituto de biotecnologia UNAM Maestria en ciencias Bioquimicas[En línea].2004.  
<[http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/met/espectrometria\\_de\\_absorcion.pdf](http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/met/espectrometria_de_absorcion.pdf)>[2017]
- [17] Aguayo P, Angela y Lago T, Ana Apulina. Guia clinica de control de signos vitales. Universidad Pedro de Valdivia Facultad Ciencias de la Salud[En línea].<  
<http://academico.upv.cl/doctos/KINE-4068/%7B328B1B37-2C2A-4747-8B38-169806A27753%7D/2012/S1/GUIA%20TECNICA%20DE%20CONTROL%20DE%20SIGNOS%20VITALES%20KINE.pdf>>[2017]
- [18] MCI Electronics.¿Que es Xbee?[ En línea].2017.<<http://xbee.cl/que-es-xbee/>>[2017]
- [19] DIGI. DIGI XBEE HARDWARE[En línea].  
2017.<<https://www.digi.com/lp/xbee/hardware>> [2017]
- [20] Digi Xbee Family Features Comparison.DIGI[En línea].  
2017.<[https://www.digi.com/pdf/chart\\_xbee\\_rf\\_features.pdf](https://www.digi.com/pdf/chart_xbee_rf_features.pdf)> [2017]
- [21] DIGI. XBEE AND XBEE-PRO ZIGBEE datasheet. [En  
línea].2017.<[https://www.digi.com/pdf/ds\\_xbee\\_zigbee.pdf](https://www.digi.com/pdf/ds_xbee_zigbee.pdf)>[2017]
- [22] DIGI. XBEE-PRO S2B PROGRAMMABLE BLOCK DIAGRAM[En línea].  
2017.<[http://ftp1.digi.com/support/documentation/3001115101\\_b.pdf20](http://ftp1.digi.com/support/documentation/3001115101_b.pdf20)>[2017]
- [23] DIGI.XCTU User Guide[En línea]. 2017.  
<<http://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90001458-13.pdf>>[2016]

- [24] DIGI. ZigBee Rf Modules UserGuide[Enlínea].2016.  
<<http://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90000976.pdf>>[2016]
- [25] IMSS.El IMSS en cifras, la demanda de servicios en urgencias,2004[En línea].2005.< <http://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2006/im063n.pdf>>[2017]
- [26] MCI Electronics. Tutorial Xbee:MCI Capacitación[En línea].2017.<<http://cursos.olimex.cl/tutorial-xbee-1/>>[2017]
- [27] MCI Electronics.Guía de referencia para Xbee S2C PRO[En línea].2017  
<<https://www.dropbox.com/s/1no3i7i45lz1url/Poster%20xbee%20traducido.pdf?dl=1>> [2017]
- [28] MiCOMLabs. Certificate of Radio Equipment in Japan[En línea]. 2016.<[https://www.digi.com/pdf/agencyapprovals/91002453\\_a.pdf](https://www.digi.com/pdf/agencyapprovals/91002453_a.pdf)>[2017]
- [29] Dr. Leonardo Betancur.Redes de área corporal. Una perspectiva al futuro desde la investigación.Revista sistemas y telemática[En línea].2011.  
<[http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/sistemas\\_teleomatica/article/download/1027/1052](http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/sistemas_teleomatica/article/download/1027/1052)> [2016]
- [30] SantiagoLopez.Pulse Oximeter Fundamentals and Desing.Freescale Simiconductor Application Note[En línea]No.16. <  
<http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/application-notes/AN4327.pdf?&tid=AMdIDR>>[2017]
- [31] Joel Murphy and Yury Gitman.Open Hardware[En línea].2017.<  
<https://pulsesensor.com/pages/open-hardware>> [2017]
- [32] Energia.Setup Energia on windows[En línea].2017.<  
[http://energia.nu/Guide\\_Windows.html](http://energia.nu/Guide_Windows.html)>[2017]
- [33] Energia.Anolg Read serial[En línea].2017.<  
[http://energia.nu/Tutorial\\_AnalogReadSerial.html](http://energia.nu/Tutorial_AnalogReadSerial.html)>[2017]
- [34] Energia.Serial library(UART)[En línea].2017<<http://energia.nu/reference/serial/>>[2017]
- [35] Energia. Guide to the MSP430 LaunchPad (MSP-EXP430G2)[ En línea].2017.<  
[http://energia.nu/Guide\\_MSP430LaunchPad.html](http://energia.nu/Guide_MSP430LaunchPad.html)>[2017]

- [36] Cristian Fernando Santana Hidalgo. Arquitectura de Von Neumann. Universidad de Concepción[En línea]<  
<http://www2.udec.cl/~crisantana/von%20neumann.pdf>>[2017]
- [37] Texas Instruments.Mixed signal microcontroller[En línea].2013.<  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430g2553.pdf>>[2017]
- [38] Facultad de ingeniería UAM, Departamento de electrónica. Introducción al microcontrolador MSP430 [En línea]<  
[http://kali.azc.uam.mx/erm/Media/1123021/introduccion\\_al\\_msp430.pdf](http://kali.azc.uam.mx/erm/Media/1123021/introduccion_al_msp430.pdf)>[2017]
- [39] Arduino.Arduino/Genuino UNO[En línea].2017.<  
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>[2017]
- [40]Arduino.Guia/Introducción[En línea].2017.<  
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>[2017]
- [41] Python.Welcome to pySerial's documentation[En línea].2017.<  
<https://pythonhosted.org/pyserial/>>[2017]
- [42] Matplotlib.User's Guide[En línea].2017.<  
<https://pythonhosted.org/pyserial/>>[2017]
- [43] Python.Time access and conversions[En línea].2017.<  
<https://docs.python.org/2/library/time.html>>[2017]
- [44] INEGI.Población en México[En línea].2017.<  
<http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/default.aspx?tema=P>>[2017]
- [45] PulseSensor.Pulse sensor getting started guide[En línea].2017.<  
<https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Pulse%20PDFs/PulseSensorAmpedGettingStartedGuide.pdf>>[2017]
- [46] IEEE.IEEE Standard for low-rate wireless network[En línea].2015.<  
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2015.pdf>>[2017]
- [47] Consejo de salubridad general. Guía de referencia rápida, Triage hospitalario de primer contacto en los servicios de urgencias adultos para el segundo y tercer nivel[En línea].2017.<  
[http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/gpc/CatalogoMaestro/339\\_ISSSTE\\_08\\_triage/GRR\\_ISSSTE\\_339\\_08.pdf](http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/gpc/CatalogoMaestro/339_ISSSTE_08_triage/GRR_ISSSTE_339_08.pdf)>[2017]

[48] Dirección General de información en salud. Consulta externa por tipo [En línea]. 2014. <

[http://www.dgis.salud.gob.mx/descargas/xls/so\\_sec\\_ins\\_001.xlsx](http://www.dgis.salud.gob.mx/descargas/xls/so_sec_ins_001.xlsx)> [2017]



# ANEXOS

## Anexo 1 Sensor de pulso cardiaco

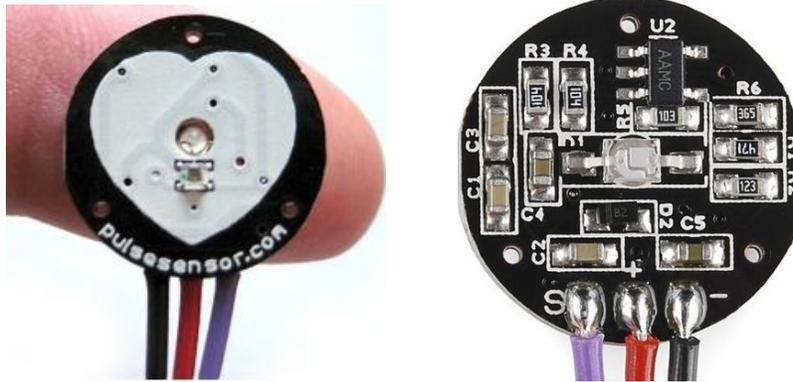


Figura 7.1 Sensor de pulso cardiaco.

### Especificaciones físicas:

- Diámetro = 0.625 "(16mm)
- Grosor total = 0.125 "(~ 3 mm)
- Voltaje de alimentación = 3V a 5V
- Consumo de corriente = 4mA

Esquema eléctrico

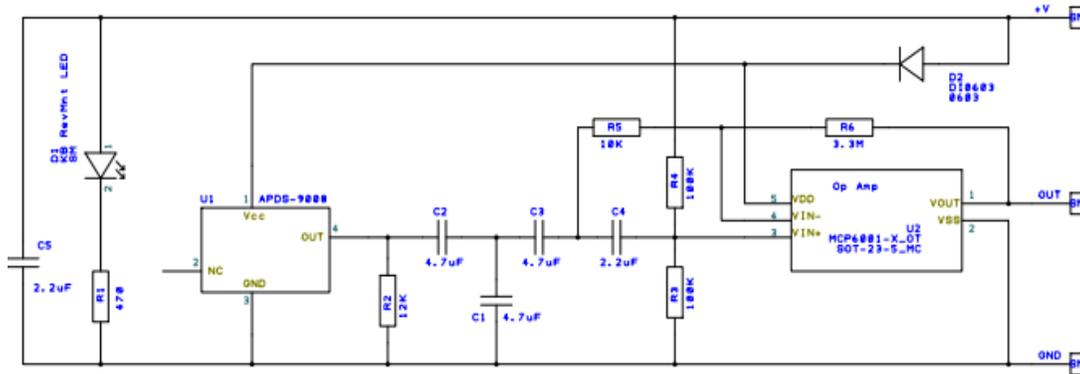


Figura 7.2 Esquema eléctrico sensor de pulsos.

Tabla 7.1 Componentes del sensor de pulso.

Referencia en el circuito	Componente	Valor	Descripción
U1	APDS-9008	-	Sensor
U2	MCP6001	-	Amplificador OP de baja potencia
D1	RevMntLED	-	LED de montaje inverso
D2	Schottkey	-	Diodo de línea de alimentación
C1,C2,C3	-	4.7 $\mu$ F	Capacitor cerámico multicapa de montaje superficial
C4,C5	-	2.2 $\mu$ F	Capacitor cerámico multicapa de montaje superficial
R1	-	470 K $\Omega$	Resistencia de montaje superficial
R2	-	12 K $\Omega$	Resistencia de montaje superficial
R3,R4	-	100 K $\Omega$	Resistencia de montaje superficial
R5	-	10 K $\Omega$	Resistencia de montaje superficial
R6	-	3.3 M $\Omega$	Resistencia de montaje superficial

## Anexo 2 MSP430G2

### Distribución de entradas y salidas

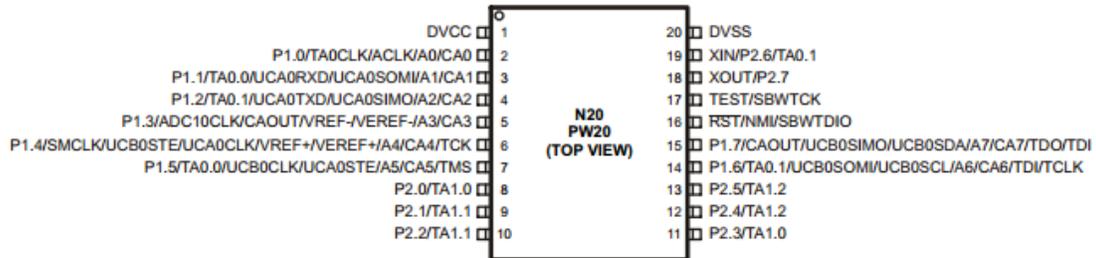


Figura 7.3. Terminales de Entrada/Salida, MSP430G2x13 y MSP430G2x53, Dispositivos de 20 Terminales.

Tabla 7.2. Funciones de terminales del MSP430G2553.

Número de pin	Nombres	Entrada/Salida	Descripción
1	DVCC		<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión de alimentación digital</li> </ul>
2	P1.0/ TA0CLK/ ACLK/ A0/ CA0	Entrada/Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pin de E / S de uso general</li> <li>Temporizador 0A, señal de reloj de entrada TACLK</li> <li>Salida de señal ACLK</li> <li>Entrada analógica ADC10 A0</li> <li>Comparador A +, entrada CA0</li> </ul>

<p>3</p>	<p>P1.1/ TA0.0/ UCA0RXD/ UCA0SIMI/ A1/ CA1</p>	<p>Entrada/Salida</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• Temporizador 0A, captura: entrada CCI0A</li> <li>• USCI_A0 Modo UART: recibe la entrada de datos</li> <li>• USCI_A0 Modo SPI: entrada de datos esclavo/master</li> <li>• Entrada analógica ADC10 A1</li> <li>• Comparador A +, entrada CA1</li> </ul>
<p>4</p>	<p>P1.2/ TA0.1/ UCA0TXD/ UCA0SIMO/ A2/ CA2</p>	<p>Entrada/Salida</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• Temporizador 0A, captura: entrada CCI1A</li> <li>• USCI_A0 Modo UART: transmisión de salida de datos</li> <li>• USCI_A0 Modo SPI: salida de datos esclavo/master</li> <li>• Entrada analógica ADC10 A2</li> <li>• Comparador A +, entrada CA2</li> </ul>
<p>5</p>	<p>P1.3/ ADC10CLK/ A3/ VREF-/ CA3/ CAOUT</p>	<p>Entrada/Salida</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• ADC10, salida de reloj de conversión</li> <li>• Entrada analógica ADC10 A3</li> <li>• Tensión negativa de referencia ADC10</li> <li>• Comparador A +, entrada CA3</li> <li>• Comparador A +, salida</li> </ul>

6	P1.4/ SMCLK/ UCB0STE/ UCA0CLK/ A4/ VREF+/ CA4/ TCK	Entrada/Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• Salida de señal SMCLK</li> <li>• Permiso de transmisión esclavo USCI B0</li> <li>• Entrada / salida de reloj USCI A0</li> <li>• Entrada analógica ADC10 A4</li> <li>• Voltaje de referencia positivo ADC10</li> <li>• Comparador A +, entrada CA4</li> <li>• JTAG reloj de prueba, terminal de entrada para la programación del dispositivo y prueba.</li> </ul>
7	P1.5/ TA0.0/ UCB0CLK/ UCA0STE/ A5/ CA5/ TMS	Entrada/Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• Temporizador 0A, compara: salida Out0 contra recepción BSL</li> <li>• Entrada / salida de reloj USCI B0</li> <li>• Permiso de transmisión esclavo USCI A0</li> <li>• Entrada analógica ADC10 A5</li> <li>• Comparador A +, entrada CA5</li> <li>• Selección del modo de prueba JTAG, terminal de entrada para la programación del dispositivo y prueba</li> </ul>
8	P2.0/ TA1.0	Entrada/Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• Temporizador 1A, captura: entrada CCI0A</li> </ul>

9	P2.1/ TA1.1	Entrada/Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• Temporizador 1A, captura: entrada CCI1A</li> </ul>
10	P2.2/ TA1.1	Entrada/Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• Temporizador 1A, captura: entrada CCI1B</li> </ul>
11	P2.3/ TA1.0	Entrada/Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• Temporizador 1A, captura: entrada CCI0B</li> </ul>
12	P2.4/ TA1.2	Entrada/Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• Temporizador 1A, captura: entrada CCI2A</li> </ul>
13	P2.5/ TA1.2	Entrada/Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• Temporizador 1A, captura: entrada CCI2B</li> </ul>
14	P1.6/ TA0.1/ A6/ CA6/ UCB0SOMI/ UCB0SCL/ TDI/ TCLK	Entrada/Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• Temporizador 0A, compara: salida Out1</li> <li>• Entrada analógica ADC10 A6</li> <li>• Comparador A +, entrada CA6</li> <li>• USCI B0 Modo SPI: maestro esclavo</li> <li>• USCI B0 Modo I2C: reloj SCL I2C</li> <li>• Entrada de datos de prueba JTAG o entrada de reloj de prueba durante la programación y la prueba</li> </ul>

<p>15</p>	<p>P1.7/ A7/ CA7/ CAOUT/ UCBSIMO/ UCB0SDA/ TDO/ TDI</p>	<p>Entrada/Salida</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• Entrada analógica ADC10 A7</li> <li>• Comparador A +, entrada CA7</li> <li>• USCI B0 Modo SPI: esclavo en el maestro</li> <li>• USCI B0 Modo I2C: datos SDA I2C</li> <li>• Terminal de salida de datos de prueba JTAG o entrada de datos de prueba durante la programación y prueba</li> </ul>
<p>16</p>	<p>RST/ NMI/ SBWTDIO</p>	<p>Entrada</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reiniciar</li> <li>• Entrada de interrupción no enmascarable</li> <li>• Entrada / salida de datos de prueba Spy-Bi-Wire durante la programación y la prueba</li> </ul>
<p>17</p>	<p>TEST/ SBWTCK</p>	<p>Entrada</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selecciona el modo de prueba para los terminales JTAG en el puerto 1. El fusible de protección del dispositivo está conectado a TEST.</li> <li>• Entrada de reloj de prueba de Spy-Bi-Wire durante la programación y la prueba</li> </ul>

18	XOUT/ P2.7	Entrada/Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terminal de salida del oscilador de cristal</li> <li>• Pin de E / S de uso general</li> </ul>
19	XIN/ P2.6/ TA0.1	Entrada/Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terminal de entrada del oscilador de cristal</li> <li>• Pin de E / S de uso general</li> <li>• Temporizador 0A, compara: salida Out1</li> </ul>
20	DVCC		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referencia de tierra</li> </ul>

### Anexo 3 XBee

Especificaciones físicas:

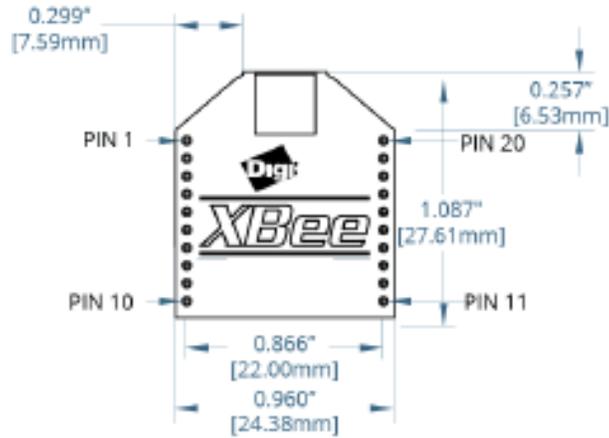


Figura7.4. Dibujo mecánico del XBee.

Especificaciones XBee.

Tabla 7.3. Especificaciones del módulo XBee.

<b>Especificaciones.</b>	<b>XBee.</b>
<i>Rendimiento.</i>	
Rango interior/externo	Hasta 133 pies (40 m)
Rango de línea de visión de Radiofrecuencia al aire libre	Hasta 400 pies (120 m)

<p>Salida de potencia de transmisión</p>	<p>2mW (+3 dBm), Activación del modo de impulso.</p> <p>1.25 mW (+1 dBm), Desactivación del modo de impulso.</p>
<p>Velocidad de datos de Radiofrecuencia</p>	<p>250,000 bits/segundo</p>
<p>Rendimiento de datos</p>	<p>Hasta 35,000 bits/segundo</p>
<p>Velocidad de datos de interfaz serie (seleccionable por software)</p>	<p>De 1,200 bits/segundo hasta 1 Mb/s</p>
<p>Sensibilidad del receptor</p>	<p>-96 dBm, Activación del modo de impulso.</p> <p>-95 dBm, Desactivación del modo de impulso.</p>
<p><i>Requerimientos de energía.</i></p>	
<p>Tensión de alimentación</p>	<p>2.1 - 3.6 volts</p>
<p>Corriente de funcionamiento (transmisión, potencia máxima de salida)</p>	<p>40 mA (3.3 v, modo de impulso activado)</p> <p>35 mA (3.3 v, modo de impulso activado)</p>

Corriente de funcionamiento (recepción)	40 mA (3.3 v, modo de impulso activado) 38 mA (3.3 v, modo de impulso activado)
Corriente inactiva (receptor desactivado)	15 mA
Corriente de desconexión	<1 $\mu$ A (25°C)
<i>General</i>	
Frecuencia de operación	2.4 GHz
Dimensiones	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)
Temperatura de funcionamiento	-40°C a 85° C (industrial)
Opciones de antenas	Antena de látigo integrada, antena incorporada de PCB, RP SMA o conector U.FL
Interfaz de Entrada/Salida	3.3 v CMOS UART (no tolera 5 v)
<i>Redes y seguridad</i>	
Topologías de red compatibles	Punto a punto, punto a multipunto y de malla
Número de canales	16 canales directos de secuencias
Canales	11 a 26
Opciones de direccionamiento	PAN ID y direcciones, ID de clúster y puntos finales (opcional)

<i>Aprobaciones de la agencia</i>	
Estados Unidos (FCC Parte 15.247)	ID FCC: OUR-XBEE2
Industria Canadá (IC)	IC: 4214A-XBEE2
Europa (CE)	Si
Australia	RCM/R-NZ
Japón	R201WW07215215 (Versiones de alambre, chip, RPSMA y U.FL) R210-101040 (Versión de antena PCB)

### Asignación de entradas y salidas

Tabla 7.4. Distribución de entradas y salidas del dispositivo XBee.

Número de Pin	Nombre	Dirección	Estado predeterminado	Descripción
1	VCC	-	-	Fuente de alimentación
2	DOUT	Salida	Salida	Salida de datos de UART
3	DIN/CONFIG	Entrada	Entrada	Entrada de datos de UART

4	DIO12	Entrada/Salida	Desactivado	Entrada/Salida digital 12
5	RESET	Entrada/Salida	Colector abierto con tracción hacia arriba	Restablecimiento del módulo (El pulso de reinicio debe ser de al menos 200 ns)
6	RSSI PWM/DIO10	Entrada/Salida	Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indicador de intensidad de señal RX.</li> <li>Entrada/Salida digital 10</li> </ul>
7	DIO11	Entrada/Salida	Entrada	Entrada/Salida digital 11
8	[reservado]	-	Desactivado	No se conecta
9	DTR/SLEEP_ RQ/DIO8	Entrada/Salida	Entrada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pin de control de línea de reposo</li> <li>Entrada/Salida digital 8</li> </ul>
10	GND	-	-	Tierra

11	DIO4	Entrada/Salida	Desactivado	Entrada/Salida digital 4
12	CTS/DIO7	Entrada/Salida	Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de flujo de borrado a enviar</li> <li>• Entrada/Salida digital 7</li> <li>• CTS, si está habilitado, es una salida.</li> </ul>
13	ON/SLEEP	Salida	Salida	Indicador de estado del módulo
14	VREF	Entrada	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se utiliza para EM250.</li> <li>• Se utiliza para el procesador secundario programable.</li> <li>• Para compatibilidad con otros módulos XBee, es recomendable conectar esta referencia de voltaje si se desea un muestreo analógico. De lo contrario, conectar a tierra.</li> </ul>

15	Asociado/DIO 5	Entrada/Salida	Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicador asociado.</li> <li>• Entrada/Salida digital 5</li> </ul>
16	RTS/DIO6	Entrada/Salida	Entrada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de flujo de solicitud de envío.</li> <li>• Entrada/Salida digital 6.</li> <li>• RTS, si está habilitado, es una entrada.</li> </ul>
17	AD3/DIO3	Entrada/Salida	Desactivado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrada analógica 3</li> <li>• Entrada/Salida digital 3</li> </ul>
18	AD2/DIO2	Entrada/Salida	Desactivado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrada analógica 2</li> <li>• Entrada/Salida digital 2</li> </ul>
19	AD1/DIO1	Entrada/Salida	Desactivado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrada analógica 1</li> <li>• Entrada/Salida digital 1</li> </ul>

20	AD0/DIO0/ Botón de puesta en marcha	Entrada/Salida	Desactivado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrada analógica 3</li> <li>• Entrada/Salida digital 3</li> <li>• Botón de puesta en marcha</li> </ul>
----	----------------------------------------------	----------------	-------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### Anexo 3 Comparación de dispositivos XBee

Tabla 7.5. Comparación de módulos Xbee.

Familia	Frecuencia	Protocolo	Tasa de transferencia	Alcance máximo (línea de vista)
Xbee Cellular	Banda 4 y 13	LTE Cat 1	Bajada 10 Mbps/ Subida 5Mbps	Cobertura de la red celular
Xbee Wi-Fi	2.4 GHz	IEE 802.11	1-72 Mbps	N/A
Xbee DigiMesh 2.4	2.4 GHz	DigiMesh	250Kbps	1200 m
Xbee-PRO DigiMesh 2.4	2.4 GHz	DigiMesh	250Kbps	3200 m
Xbee 802.15.4	2.4 GHz	802.15.4	250Kbps	120 m
Xbee-PRO 802.15.4	2.4 GHz	802.14.4	250Kbps	3.2 Km

Xbee Zigbee	2.4 GHz	ZigBee Pro	250Kbps	1.2Km
Xbee-PRO Zigbee	2.4 GHz	ZigBee Pro	250Kbps	3.2 Km
Xbee Zigbee-Thread Ready	2.4 GHz	ZigBee Pro Thread	250Kbps	1.2 Km
Xbee PRO 900HP	900 MHz	Multipoint DigiMesh	10 Kbps o 200 Kbps	14.5 Km
Xbee SX	900 MHz	Multipoint DigiMesh	250Kbps	14 Km
Xbee-PRO SX	900 MHz	Multipoint DigiMesh	250Kbps	105 Km
Xbee 868LP	868 MHz	Multipoint DigiMesh	10 Kbps o 80 Kbps	8.4 Km