

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES  
INALÁMBRICOS PARA EL MONITOREO DE TEMPERATURA  
CORPORAL”**

**INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

Carlos Andrés Saavedra Arancibia

Dennis Michael Ordóñez Riofrio

GUAYAQUIL – ECUADOR

2015

# AGRADECIMIENTO

A Dios por dar salud a los míos y a mí; a mis padres María Luisa y Manuel de Jesús por su excelente labor en tal menester; a mis hermanos Denisse y Manuel por su apoyo incondicional; a mis sobrinos Luis, Octavio, Leonel y Prince por alegrar mis días; a Miguel, Jaled, Pabla, Piñas, Full, Uber, Murillo y José con quienes además de formar una gran amistad, formamos un gran equipo de futbol; a mi compañero de proyecto Dennis por su dedicación; al Ing. Boris Ramos Ph.D. por su paciencia; a todos ellos muchas gracias.

**Carlos Andrés Saavedra Arancibia**

# AGRADECIMIENTO

Debo agradecer de manera especial y sincera a mis padres Narciza y Segundo por inculcarme buenos valores y enseñarme lo importante que es superarse a diario, a Nelson por su apoyo incondicional, a mi hermana Cinthya por su motivación, a Diana por saber comprenderme en los momentos difíciles que pasamos. También hago extensivo este agradecimiento a mis compañeros de universidad por su apoyo brindado.

**Dennis Michael Ordóñez Riofrio**

# DEDICATORIA

Dedicado a María Luisa y Manuel de Jesús. No me dieron todo lo que pedía, pero si me dieron todo lo que necesitaba.

**Carlos Andrés Saavedra Arancibia**

Dedicado a mi hija Danna, por quien me esfuerzo día a día para darle lo mejor. Pero en especial a mi madre por sacrificarse y esforzarse para que nada me falte.

**Dennis Michael Ordóñez Riofrio**

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



---

M.Sc. Sara Ríos Orellana


SUBDECANA DE LA FIEC



---

Dr. Boris Gabriel Ramos Sánchez

DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN



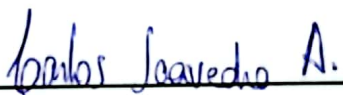
---

Ing. Miguel Eduardo Yapur Auad

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

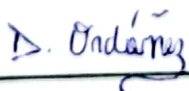
# DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Informe, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL". (Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)



---

Carlos Andrés Saavedra Arancibia



---

Dennis Michael Ordóñez Riofrio

# RESUMEN

Los módulos de transmisión inalámbrica XBee están basados en el estándar ZigBee; los cuales son dispositivos de fácil adquisición, de configuración sencilla y con múltiples áreas de aplicación.

Las características del estándar ZigBee permitirán hacer una aplicación capaz de medir la temperatura en pacientes de un hospital, usando nodos sensores inalámbricos, que crearán entre sí una red mallada; además de, mostrar la información de los pacientes en una computadora con indicadores que se encienden al pasar un valor de temperatura corporal límite, fijado previamente. La solución es robusta y escalable, características específicas de las redes malladas.

Además se realizará un análisis de propagación para obtener los niveles de potencia recibidos por cada nodo sensor; y luego hacer una comparación entre los valores obtenidos experimentalmente y los obtenidos teóricamente.

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iv
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	v
DECLARACIÓN EXPRESA .....	vi
RESUMEN .....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	xvii
CAPÍTULO 1 .....	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	2
1.3. Justificación .....	2
1.4. Modelo propuesto para la solución del problema .....	3
1.5. Objetivos.....	4
CAPÍTULO 2.....	5



2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Sensor de Temperatura .....	5
2.1.1. Características de los sensores de temperatura .....	6
2.1.2. Tipos de sensores de temperatura.....	7
2.2. Red de Sensores Inalámbricos.....	10
2.2.1. Características de una Red de Sensores Inalámbricos.....	11
2.2.2. Aplicaciones de una Red de Sensores Inalámbricos .....	13
2.2.3. Ventajas y desventajas de una Red de Sensores Inalámbricos	14
2.3. Estándar ZigBee .....	16
2.3.1. Características del estándar ZigBee .....	17
2.3.2. Arquitectura del estándar ZigBee .....	21
2.3.3. Aplicaciones para el estándar ZigBee .....	24
2.3.4. Tipos de dispositivos.....	24
2.3.5. Control de acceso al medio.....	26
2.3.6. Proceso de enrutamiento .....	27
2.4. Introducción a LabVIEW .....	31
2.4.1. ¿Quiénes lo usan? .....	32
2.4.2. Entorno de LabVIEW.....	33
2.5. Introducción a XCTU.....	36
2.6. Modelo de Propagación.....	38
2.6.1. ¿Por qué realizar estudios de propagación? .....	39
2.6.2. Clasificación de los modelos de propagación .....	41

2.6.3.	Modelo dependiente de las particiones de un sitio.....	42
2.7.	Temperatura del cuerpo humano.....	44
2.7.1.	Temperatura promedio del cuerpo humano .....	45
2.7.2.	Recomendación de medición de temperatura corporal .....	46
CAPÍTULO 3.....		49
3.	DISEÑO DE LA SOLUCIÓN .....	49
3.1.	Descripción técnica de los componentes.....	52
3.1.1.	Módulo XBee serie 2.....	52
3.1.2.	XBee Explorer .....	57
3.1.3.	Sensor de temperatura.....	58
3.1.4.	Microcontrolador PIC 12LF1822.....	59
3.2.	Diagrama de bloques.....	62
3.2.1.	Fuente de alimentación .....	63
3.2.2.	Obtención de datos del sensor.....	64
3.2.3.	Amplificación de la señal de temperatura.....	65
3.2.4.	Conversión analógica/digital y creación de tramas .....	66
3.2.5.	Transmisión entre cada nodo sensor y el dispositivo coordinador	69
3.2.6.	Comunicación entre el dispositivo coordinador y el computador..	72
3.3.	Interfaz gráfica hacia el usuario .....	74
CAPÍTULO 4.....		77
4.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	77
4.1.	Pruebas de medición de temperatura corporal.....	78

4.2. Creación de red mallada y cambios de topología .....	81
4.3. Medición del indicador de fuerza de la señal recibida .....	85
4.4. Modelo de propagación y alcance entre nodos .....	89
4.5. Verificación del sistema en entorno real .....	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	102
BIBLIOGRAFÍA.....	106
ANEXOS.....	110

# ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

ACK	Acknowledgement
AODV	Ad hoc On-Demand Distance Vector
API	Application Programming Interface
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LED	Light-emitting Diode
LQI	Link Quality Indicator
MAC	Medium Access Control
PAN	Personal Area Network
PIC	Peripheral Interface Controller
RF	Radio Frequency
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTD	Resistive Temperature Detector
SNR	Signal-to-Noise Ratio
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
VI	Virtual Instrument
WSN	Wireless Sensor Network
ZC	ZigBee Coordinator
ZED	ZigBee End Device
ZR	ZigBee Router

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Termopar.....	8
Figura 2.2 Detector de Temperatura Resistivo.....	9
Figura 2.3 Termistor.....	10
Figura 2.4 Partes de un nodo sensor .....	11
Figura 2.5 Red de sensores agroclimáticos.....	14
Figura 2.6 Logo ZigBee Alliance.....	17
Figura 2.7 Topología ZigBee tipo estrella.....	19
Figura 2.8 Topología ZigBee tipo árbol.....	20
Figura 2.9 Topología ZigBee tipo malla.....	20
Figura 2.10 Arquitectura ZigBee.....	21
Figura 2.11 Diversos grupos de aplicaciones para ZigBee.....	24
Figura 2.12 Tipos de dispositivos ZigBee.....	25
Figura 2.13 CSMA/CA .....	26
Figura 2.14 Enrutamiento en una red .....	28
Figura 2.15 R3 Tratando de descubrir una ruta hacia R6 .....	29
Figura 2.16 R6 envía una respuesta de ruta (vía unicast) a R3.....	30
Figura 2.17 Logo LabVIEW.....	32
Figura 2.18 Ejemplo del Panel Frontal.....	34
Figura 2.19 Ejemplo del Diagrama de Bloques.....	35
Figura 2.20 Pantalla de inicio de XCTU .....	36

Figura 2.21 Clasificación de los modelos de propagación.....	41
Figura 2.22 Medición Oral.....	47
Figura 2.23 Medición Axilar.....	48
Figura 3.1 Diagrama Esquemático .....	50
Figura 3.2 Nodo Sensor.....	51
Figura 3.3 Vista superior del nodo sensor.....	51
Figura 3.4 Módulo XBee.....	53
Figura 3.5 Conexión básica.....	53
Figura 3.6 Trama API.....	54
Figura 3.7 XBee Explorer USB.....	58
Figura 3.8 Sensor de temperatura LM35.....	59
Figura 3.9 Diagrama del PIC.....	61
Figura 3.10 Diagrama de bloques de cada nodo sensor.....	62
Figura 3.11 Fuente de alimentación.....	63
Figura 3.12 Obtención de datos del sensor de temperatura.....	64
Figura 3.13 Etapa de amplificación.....	65
Figura 3.14 Conversión analógica/digital.....	66
Figura 3.15 Código para la conversión analógica/digital.....	68
Figura 3.16 Código para envío de la trama.....	69
Figura 3.17 Módulo de transmisión.....	70
Figura 3.18 ZigBee Coordinador API.....	71
Figura 3.19 ZigBee Enrutador AT.....	71

Figura 3.20 Componentes de la comunicación serial.....	72
Figura 3.21 Parámetros del puerto serial/USB.....	73
Figura 3.22 Panel frontal de la interfaz gráfica.....	74
Figura 3.23 Sub-VI de alerta.....	75
Figura 3.24 Diagrama de bloques de la interfaz gráfica.....	76
Figura 4.1 3er piso del hospital Reina del Cisne.....	78
Figura 4.2 Monitoreo de temperatura.....	80
Figura 4.3 Topología de red completa.....	82
Figura 4.4 Cambio en la topología de red.....	84
Figura 4.5 RSSI Nodo A.....	86
Figura 4.6 RSSI Nodo B.....	86
Figura 4.7 RSSI Nodo C.....	87
Figura 4.8 RSSI Nodo D.....	87
Figura 4.9 Gráfica RSSI vs Distancia.....	90
Figura 4.10 Proyección de los nodos sensores en el 3er piso del hospital....	91
Figura 4.11 Estación de enfermería.....	99
Figura 4.12 Colocación de PC en estación de enfermería.....	99
Figura 4.13 Adaptación del nodo sensor.....	100
Figura 4.14 Colocación del sensor al paciente (1).....	100
Figura 4.15 Colocación del sensor al paciente (2).....	101

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de enrutamiento.....	28
Tabla 2 Valores de pérdida por tipo de obstáculo.....	43
Tabla 3 Valores de pérdida por tipo de obstáculo (2).....	43
Tabla 4 Especificaciones técnicas del XBee S2.....	54
Tabla 5 Especificaciones técnicas del PIC 12LF1822.....	60
Tabla 6 Descripción de Pines del PIC 12LF1822.....	61
Tabla 7 Diferencia entre temperatura .....	79
Tabla 8 Asignación de etiquetas.....	81
Tabla 9 LQI de transmisión y recepción entre conexiones.....	83
Tabla 10 Niveles de RSSI de todos los nodos.....	88
Tabla 11 Niveles de RSSI vs distancia.....	89
Tabla 12 Atenuación según obstáculos en el hospital.....	92
Tabla 13 Porcentaje de error en RSSI.....	98



# INTRODUCCIÓN

El proyecto consiste en el diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos utilizando los módulos de transmisión inalámbrica XBee, basados en el estándar ZigBee (IEEE 802.15.4), junto a microcontroladores, sensores de temperatura y rectificadores, que ayudaron en el objetivo de crear nodos sensores, capaces de monitorear la temperatura corporal y presentarla en una computadora gracias al software de desarrollo LabVIEW.

Al proyecto se lo ha estructurado en 4 capítulos, como se detalla a continuación:

En el primer capítulo, se expone la problemática que se desea tratar, mostrando la diferencia con las soluciones existentes, además de proponer un modelo para la solución.

En el segundo capítulo, se da a conocer la parte teórica, explicando los conceptos básicos de los elementos y software usados para el desarrollo del proyecto.

En el tercer capítulo, se señala cómo se ejecutó el proyecto, en este punto se muestra el diseño base y se muestran paso a paso las etapas creadas para que cada nodo sensor funcione acertadamente y la información sea mostrada correctamente.

En el cuarto capítulo, se muestran y analizan los resultados obtenidos.

Finalmente se ejecutó un análisis general del proyecto basado en los resultados; de esta manera se pudo obtener las conclusiones y hacer las respectivas recomendaciones.

# **CAPÍTULO 1**

## **1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1. Antecedentes**

Los avances en las comunicaciones inalámbricas, en la micro fabricación e integración de circuitos, y de los microprocesadores embebidos han permitido una nueva generación de redes de sensores de larga escala, disponible para aplicaciones comerciales y militares.

Esta nueva generación de redes de sensores apareció gracias al desarrollo de dispositivos sensores de tamaño reducido, bajo costo y bajo consumo, capaces de procesar información de manera local y que pueden comunicarse de forma inalámbrica, trabajando de forma cooperativa, las llamadas redes de sensores inalámbricas.

## **1.2. Planteamiento del problema**

Los sistemas actuales de monitoreo de temperatura corporal en la mayoría de hospitales carecen de eficiencia, repercutiendo directamente en una mala atención. Además de ser un proceso que consume gran cantidad de tiempo y de recurso humano, sin obtener resultados óptimos.

Monitorear la temperatura corporal de un paciente en tiempo real es una de las primeras y más básicas necesidades del cuidado de la salud. Es importante tener al alcance esta información para poder tomar decisiones acertadas, teniendo presente el bienestar de quienes están siendo monitoreados.

## **1.3. Justificación**

Se decidió realizar este proyecto debido a la necesidad que tienen los hospitales, por medio de sus asistentes médicos, de controlar un mayor número de pacientes eficientemente. Con esta solución automatizada y escalable, se pretende mejorar el servicio médico monitoreando en tiempo real la temperatura corporal controlando específicamente ciertas enfermedades relacionadas a cambios bruscos de temperatura. El fácil acceso a dicha información hacia

los asistentes médicos es el eje fundamental sobre el cual se basa el presente trabajo.

Las soluciones implementadas en la actualidad no brindan la escalabilidad que proporciona el presente proyecto; por el contrario, la presente solución al ser una red mallada, optimiza el ancho de banda y permite intercambiar información directamente entre 2 o más nodos.

#### **1.4. Modelo propuesto para la solución del problema**

Se colocarán sensores de temperatura a cada paciente para determinar su temperatura corporal, luego se enviará esta información a módulos de transmisión y recepción inalámbricos basados en el estándar ZigBee quienes estarán comunicados entre sí formando una red mallada, la información obtenida pasará por un proceso de conversión analógica digital, para ser reenviada a otros nodos creando una red mallada formada por 4 nodos sensores.

Uno de los nodos tendrá comunicación serial hacia una computadora, en la cual se desplegará una interfaz gráfica basada en el software de desarrollo LabVIEW.

Finalmente, se realizarán pruebas de funcionamiento del sistema en un entorno real y se detallarán los resultados obtenidos.

### **1.5. Objetivos.**

- ✓ Diseñar e implementar una red de sensores inalámbricos.
- ✓ Crear un circuito electrónico capaz de medir y procesar la temperatura corporal.
- ✓ Establecer una red mallada basada en el estándar ZigBee.
- ✓ Diseñar y crear una interfaz gráfica usando el software LabVIEW.
- ✓ Usar un modelo de propagación que permita proyectar los niveles de potencia en la señal recibida para cada nodo.
- ✓ Verificar la aplicabilidad del sistema en un entorno real.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se abarcan los conceptos básicos y se hace una breve introducción a los dispositivos, programas y tecnologías que fueron de utilidad durante el desarrollo del proyecto.

#### **2.1. Sensor de Temperatura**

Los sensores de temperatura son artefactos por lo general de pequeñas y medianas dimensiones, que pueden interpretar señales y sus variaciones de temperatura en diferentes tipos de ambientes según su capacidad y características, para convertirlas en señales eléctricas.

### 2.1.1. Características de los sensores de temperatura

Entre las características más importantes tenemos:

- ✓ El rango de medición de cada sensor es referente a su aplicación aunque los más comunes están en el rango de entre: 0°C y 70°C.
- ✓ La exactitud del sensor difiere según su uso y su nivel de precisión se ve reflejado en el costo del mismo.
- ✓ Todo sensor debe tener una alta respuesta ante la variación de la temperatura sensada, de modo que el muestreo de la misma sea confiable.
- ✓ Dependiendo del tipo de sensor la calibración no es muy frecuente ni complicada.
- ✓ La resolución del sensor entrega información sobre cada pequeño cambio en la señal muestreada, de modo que no se pierda ese dato; los sensores con mayor resolución son usados en aplicaciones donde cada mínima variación es importante.
- ✓ Las variaciones por corrimiento de la línea base de cada sensor inciden en las mediciones, aparte de la medida como magnitud de entrada y que afectan a los parámetros de salida. Estos factores suelen ser condiciones ambientales,



como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.

- ✓ La repetitividad indica el error esperado al repetir en múltiples ocasiones la misma medida [1].

### 2.1.2. Tipos de sensores de temperatura

Se dispone de una gran variedad de sensores de temperatura para realizar las mediciones, en cada caso se debe decidir cuál de los sensores se debe seleccionar para cada situación en particular, a fin de seleccionar el mejor para cada aplicación; se deben tener en cuenta factores como su temperatura máxima, rango de temperatura a medir, exactitud velocidad de respuesta, costo, etc. [2].

Los siguientes son los sensores más usados:

- ✓ **Termopares:** Este sensor se elabora al juntar 2 metales de diferente constitución, que forman una pequeña diferencia de potencial en función de la variación de temperatura en sus extremos; esta correlación es lineal a pequeñas fluctuaciones de temperatura, además son ampliamente usados por su bajo costo económico y por su amplio rango de temperatura

en el que pueden trabajar. Se puede elegir diferentes tipos de termopares con letras mayúsculas que sugieren su composición. Los termopares más comunes incluyen: B, E, K, N, R, S y T.



**Figura 2.1 Termopar (tomado de la página ‘National Instruments’)**

- ✓ **Detector de Temperatura Resistivo (RTD):** El detector resistivo de temperatura opera bajo el principio de la variación en la resistencia eléctrica de metales puros (usualmente cobre, níquel o platino) con la temperatura; se caracterizan por un cambio lineal positivo de su resistencia respecto a la temperatura. Este sensor tiene una excelente estabilidad por lo cual es muy popular, pero su precio es elevado por su elaboración; por el contrario su tiempo de respuesta es elevado con una baja sensibilidad.



**Figura 2.2 Detector de Temperatura Resistivo (tomado de la página de 'Direct Industry')**

- ✓ **Termistor:** Formado por un conjunto de semiconductores a base de óxido de metal que son comprimidos generalmente en forma de disco y expuestos a altas temperaturas. Su modo de trabajo es similar a los RTD, es decir se basa en la variación de la resistividad por el paso de una corriente que genera un cambio de voltaje que es asociado a un cambio de temperatura. A diferencia de los RTD, los termistores poseen mayor resistencia interna, en el rango de  $2k\Omega$  a  $10K\Omega$  con una alta sensibilidad de  $200\Omega/^\circ C$ . Hay 2 tipos: NTC y PTC que difieren entre sí por su coeficiente de temperatura.



**Figura 2.3 Termistor (tomado de la página 'National Instruments')**

## **2.2. Red de Sensores Inalámbricos**

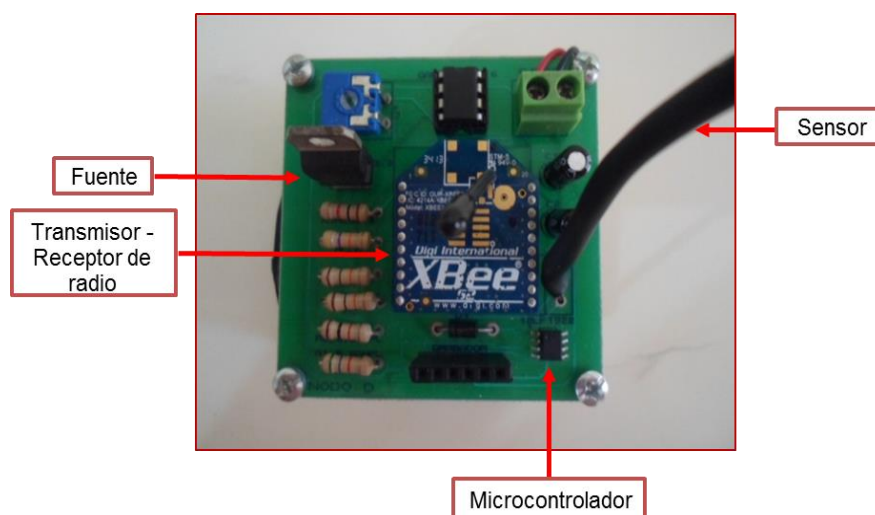
Una red de sensores inalámbricos (WSN), es un conjunto de elementos que reciben el nombre de nodos, interconectados entre sí de manera inalámbrica, que colaboran con el objetivo de resolver una tarea en común.

Normalmente, cada nodo sensor es equipado con uno o más dispositivos transductores (temperatura, humedad, presión, aceleración,...) y se comunican entre ellos de forma inalámbrica dentro de su rango de cobertura. Además de estos nodos sensores, en una WSN podemos encontrar otro tipo de nodos, denominados nodos repetidores, que se encargan de encaminar los datos hacia la estación base que se encuentra conectada a un ordenador que puede comunicarse hacia el exterior a través de Internet o una red de área local (LAN).

### 2.2.1. Características de una Red de Sensores Inalámbricos

A continuación se enumeran las principales características de las redes de sensores inalámbricas:

- ✓ Cada nodo sensor que es parte de la red está formada de las siguientes partes: microcontrolador, fuente de energía, un radiotransceptor y un elemento sensor.



**Figura 2.4 Partes de un nodo sensor**

- ✓ Se debe considerar que el consumo energético es vital en una red de sensores inalámbricos, ya que se tiene que conjugar autonomía con capacidad de procesamiento; por esta razón se busca que el dispositivo transmisor y el

microcontrolador tengan un bajo consumo de energía; a esto hay que agregar un software que también conjugue esta característica, haciendo el consumo aún más restrictivo.

- ✓ Todo hardware posee limitaciones en su velocidad y volumen de procesamiento, además de almacenamiento, ancho de banda y energía; esta problemática se acentúa en la red de sensores inalámbricos, ya que si por alguna de estas razones el nodo falla, se perderá la gestión y el control sobre ese dispositivo.
- ✓ Topología dinámica, debido a ser una red escalable, la topología siempre está cambiando, ya que los nodos son auto configurables y pueden aparecer en la red.
- ✓ Los nodos sensores usan mecanismos de difusión para comunicarse con su entorno.
- ✓ Las redes de sensores inalámbricos presentan tolerancia a fallos.
- ✓ Típicamente están basadas en el estándar 802.15.4 ZigBee.
- ✓ Los nodos bajan su costo luego que pasan del proceso de ingeniería al proceso de producción.
- ✓ No se utiliza infraestructura de red, en su lugar cada nodo independientemente de su modo de trabajo sirve como puente para reenviar la información. El encaminamiento entre

nodos no necesita visión directa con el nodo destino porque pueden usar comunicación multisalto.

### **2.2.2. Aplicaciones de una Red de Sensores Inalámbricos**

Las redes de sensores tienen una amplia variedad de aplicaciones:

- ✓ Monitoreo de un hábitat (para determinar la población y comportamiento de animales y plantas).
- ✓ Monitoreo del medio ambiente, suelo o agua.
- ✓ Mantenimiento de ciertas condiciones físicas (temperatura, luz).
- ✓ Control de parámetros en la agricultura.
- ✓ Detección de incendios, terremotos o inundaciones.
- ✓ Control de tráfico.
- ✓ Asistencia militar o civil.
- ✓ Control de inventario.
- ✓ Detección acústica.
- ✓ Cadenas de montaje, etc.
- ✓ Control médico.



**Figura 2.5 Red de sensores agroclimáticos (foto tomada de la página ‘[www.murciaeduca.com](http://www.murciaeduca.com)’)**

Las redes de sensores inalámbricas tienen el potencial de cambiar los complejos sistemas de control y monitoreo actuales.

### **2.2.3. Ventajas y desventajas de una Red de Sensores Inalámbricos**

Teniendo en cuenta las características de WSN las cuales proporcionan ventajas sobre los sistemas centralizados, se procede a mostrar las principales ventajas y desventajas:

**Tiempo de vida.-** Es bajo, depende del consumo de potencia de cada elemento que consume energía en el nodo y teniendo en



cuenta que los nodos se proyectan para trabajar con baterías, el tiempo de vida se convierte en su principal desventaja.

**Cobertura.-** Una de las principales ventajas de los sistemas inalámbricos en general es el área de cobertura, si a esto se suman técnicas como el enrutamiento multisalto, que permiten ampliar aún más las zonas de cobertura, se obtendrá una gran ventaja para la red.

**Costos y facilidad de instalación.-** No se debe hacer inversión en infraestructura, todos los nodos poseen el mismo hardware con pequeños cambios solo en software, lo que permite su fácil producción.

**Tiempo de respuesta.-** Rápida convergencia de la red. Las redes de sensores usan técnicas modernas de enrutamiento que le permiten recuperarse rápidamente ante fallas en los caminos trazados.

**Bajo consumo de potencia.-** En algunos modos de trabajo los nodos solo envían datos cuando es su turno para realizar el envío,

pasando el resto del tiempo apagado, de este modo se disminuye al máximo su consumo.

**Seguridad.-** La seguridad en redes inalámbricas de sensores es un tema pendiente ya que agregar algoritmos de seguridad implica aumentar recursos de procesamiento por ende aumentara el consumo de potencia, lo cual es algo que se evita.

### 2.3. Estándar ZigBee

El estándar ZigBee es una tecnología de comunicaciones creada por más de 300 empresas dedicadas a fabricar dispositivos semiconductores para afrontar proyectos de tipo inalámbrico a bajo costo y de manera global; además ZigBee funciona bajo el estándar IEEE 802.15.4.

Este protocolo está siendo proyectado para permitir comunicación inalámbrica confiable, con bajo consumo de energía y bajas tasas de transmisión para aplicaciones de monitoreo y control.

La figura 2.6 muestra el logo del estándar que permite interacciones entre nodos en un solo canal de los 16 posibles.



**Figura 2.6 Logo ZigBee Alliance (foto tomada de 'ZigBee org')**

### **2.3.1. Características del estándar ZigBee**

Las características elementales del estándar ZigBee se listan a continuación.

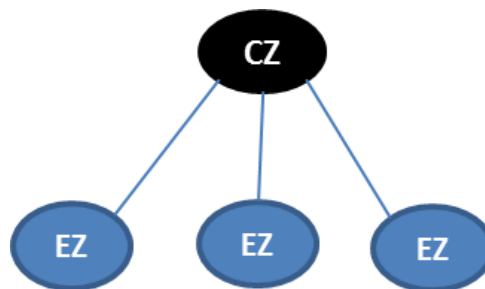
- ✓ Utiliza la banda libre de 2.4GHz para establecer la comunicación entre nodos.
- ✓ La capacidad máxima del estándar ZigBee es de 257 subredes distintas enganchadas a un canal con 255 nodos por cada subred, pero físicamente es imposible que esto se pueda dar.
- ✓ La red que forma el estándar no tiene sincronía y el modo de acceso al canal es por medio de CSMA/CA.
- ✓ El rango de la velocidad de transmisión es de 25 Kbps a 250 Kbps.

- ✓ Su cobertura se encuentra entre 10 a 75 metros dependiendo de la antena del dispositivo.
- ✓ No se ve afectado por compartir la misma frecuencia con otras tecnologías ya existentes, gracias a su baja tasa de transmisión.
- ✓ Es un protocolo fiable, la red se organiza y se repara de forma automática y se enrutan los paquetes de manera dinámica.
- ✓ El área de cobertura puede incrementarse siempre y cuando en la red hayan nodos intermedios entre dos nodos, con el fin de volver a restablecer el enlace.
- ✓ La topología de red tipo malla amplía la confiabilidad debido a su auto recuperación y la creación de varias rutas que aumentarán siempre y cuando se extienda el número de nodos en la red, lo cual garantiza la recepción de los paquetes enviados.
- ✓ El protocolo ofrece seguridad debido a que se puede implementar encriptación y autenticación.
- ✓ Al no transmitir a altas velocidades y por su bajo ciclo de trabajo que causa su bajo consumo de energía, ZigBee se

enfoca a usos de domótica y monitoreo de señales captadas por variedad de actuadores y sensores.

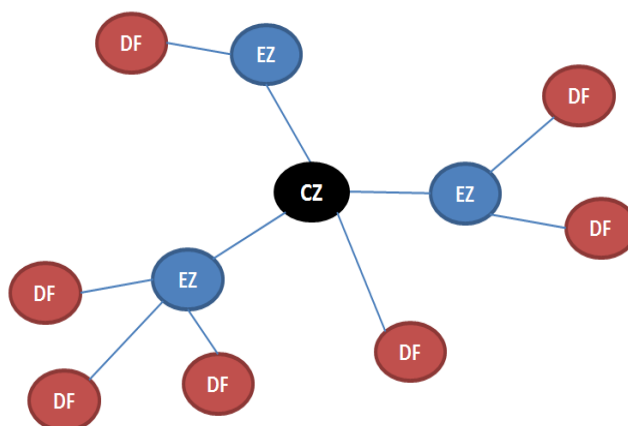
- ✓ Los tiempos para la entrega y recepción de paquetes se reducen considerablemente.
- ✓ A diferencia de otras tecnologías inalámbricas, ZigBee soporta y permite múltiples topologías de red:

- **Estrella:** Conformado por un nodo central y N módulos de transmisión y recepción conectados a él.



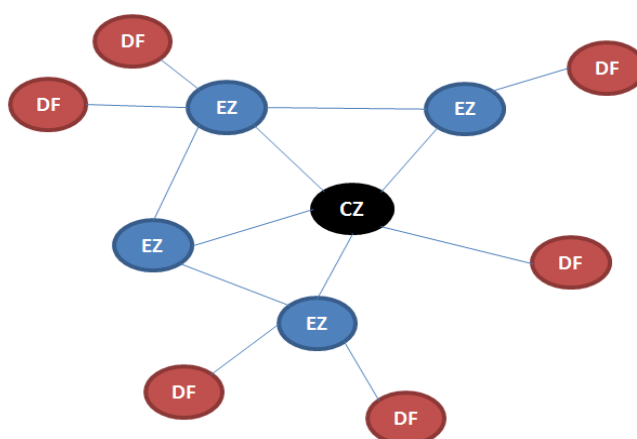
**Figura 2.7 Topología ZigBee tipo estrella.**

- **Árbol:** Cada nodo padre puede tener N nodos hijos según la profundidad de la red.



**Figura 2.8 Topología ZigBee tipo árbol.**

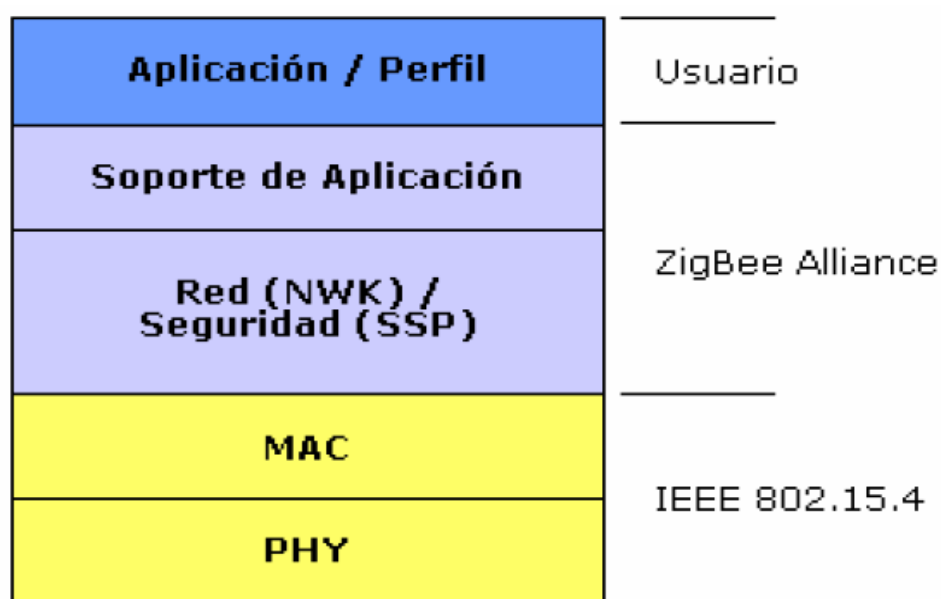
- **Malla:** Esta topología permite la interconexión entre los nodos enrutadores por lo que siempre se aseguran caminos alternativos en caso de caída de cualquier nodo de la red [3].



**Figura 2.9 Topología ZigBee tipo malla.**

### 2.3.2. Arquitectura del estándar ZigBee

La figura 2.10 muestra las capas que intervienen en el estándar ZigBee.



**Figura 2.10 Arquitectura ZigBee (tomada de la página 'www.wikispace.com')**

ZigBee se basa al igual que OSI en una arquitectura multicapas que le permite trabajar a los protocolos de cada capa de manera eficiente y limitada, además que permite aislar e identificar rápidamente los problemas. Las capas de más bajo nivel son las capas PHY y MAC que en conjunto son identificadas bajo el estándar IEEE 802.15.4. La capa PHY define la potencia de

transmisión de la antena y la sensibilidad del receptor, el estándar IEEE 802.15.4 admite una diferencia de 10 dB entre la energía mínima que el dispositivo recepta y la sensibilidad del dispositivo.

ZigBee trabaja en las bandas no licenciadas 2.4GHz en modulación con desplazamiento de fase en cuadratura con desplazamiento temporal (QPSK), teniendo como máxima velocidad de transferencia 250 kbps; en las bandas de 868MHz y 915 MHz con tasas de transferencia entre los 20 y 40 kbps en modulación con desplazamiento de fase binaria (BPSK). Siempre partiendo con 16canales disponibles siempre con ancho de banda de 5 MHz.

En la capa MAC se barre el canal con la detectora de portadora quien modula la señal que percibe y determina si es una trama ZigBee, el canal solo se considerará ocupado cuando detecte una señal del estándar. Cada dispositivo cuenta con una dirección única de red, esta dirección es irrepitible y le permite identificar a cada sensor dentro de la red.



La capa de red NWK, al igual que en el modelo OSI, tiene la labor de encontrar caminos dentro de la red, para que los datos partan de un origen hacia un destino; también se filtran, cifran y autentican los paquetes, además de brindar servicios a los protocolos de capas superiores (soporte de aplicación). El Protocolo de enrutamiento vector-distancia bajo demanda (AODV) es el algoritmo que usa ZigBee para establecer una red mallada.

Este protocolo, a pesar de ser del tipo vector-distancia no usa el algoritmo Bellman-Ford, en parte porque sus rutas son temporales; además, la capa de red del controlador de red es responsable de crear una nueva red y asignar direcciones a los dispositivos de la misma red. Esta capa es la responsable de desplegar las distintas topologías que el estándar soporta.

La capa de aplicación mantiene tablas que asocian mensajes entre dispositivos; la capa se ocupa también de descubrir otros vecinos con el mismo PAN-ID. Esta capa está definida por ZigBee [4].

### 2.3.3. Aplicaciones para el estándar ZigBee

No existen muchas aplicaciones de cara al usuario en los que ZigBee esté presente; sin embargo, existen unos pocos pero que son bastante interesantes. En la figura 2.11 se observan algunas de las aplicaciones que tiene ZigBee.



**Figura 2.11 Diversos grupos de aplicaciones para ZigBee**

(tomado de la página 'www.sg.com')

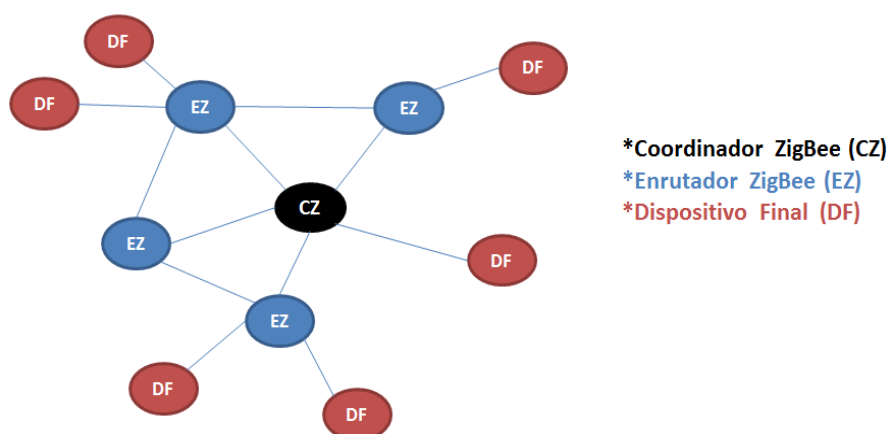
### 2.3.4. Tipos de dispositivos

Según la función que desempeñan en la red se clasifican en:

- ✓ Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC).- Este dispositivo inicia la generación de la red y la controla, debido a que se le cargan la mayor cantidad de funciones y solo hay

uno por red. Sus principales tareas son de examinar las rutas creadas y elegir la mejor opción para el posterior envío del paquete entre los nodos.

- ✓ Enrutador ZigBee (ZigBee Router, ZR).-Se encarga de enlazar a todos los dispositivos que conforman la red, asociándose con el coordinador y los elementos de su tipo; también permite la ejecución de código de parte del usuario.
- ✓ Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED). - Es el dispositivo de menor funcionalidad, ya que no se comunica con todos los nodos de la red, a excepción de su nodo padre, ya sea un ZC o ZR según el caso. Por sus escasos recursos, comparados con los demás tipos de dispositivos, el ZED consume menor energía aumentando el tiempo de vida de las baterías.

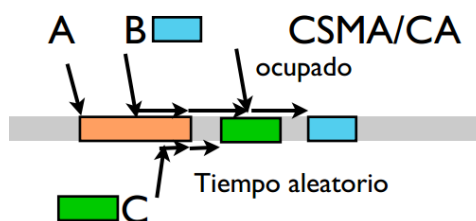


**Figura 2.12 Tipos de dispositivos ZigBee**

Se puede citar como ejemplo las aplicaciones domóticas como la habitación de una casa en dónde el control de las órdenes la dará el coordinador y las interconexiones las tendrá el enrutador y por último los dispositivos finales serán los interruptores. La figura 2.12 muestra los tipos de dispositivos ZigBee ya explicados.

### 2.3.5. Control de acceso al medio

Los nodos que forman parte de una red acceden al canal usando CSMA/CA (Detección de Portadora de múltiple acceso con evitación de colisión), aquí un nodo que desea transmitir datos tiene que escuchar primero el canal por una cantidad predeterminada de tiempo para determinar si otro nodo está transmitiendo en el canal inalámbrico. Si el canal está inactivo entonces el nodo puede empezar el proceso de transmisión, si el canal está ocupado el nodo aplaza su transmisión durante un período de tiempo aleatorio. Aún pueden existir colisiones [5].

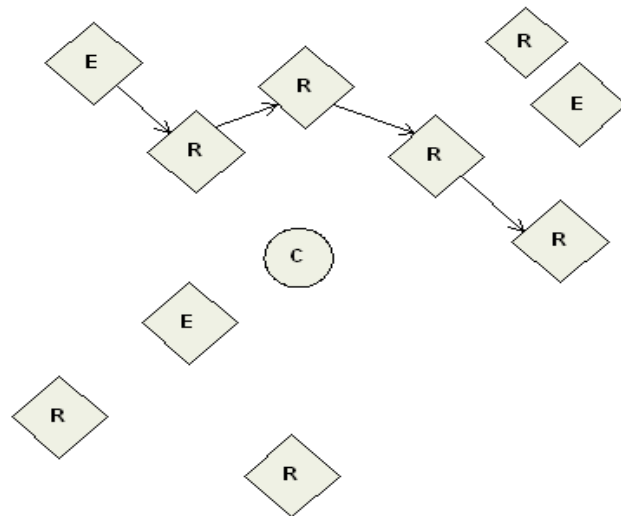


**Figura 2.13 CSMA/CA (tomado de la página'**  
**[www.iitx.blogspot.com](http://www.iitx.blogspot.com)')**

Para mejorar la eficiencia del método de acceso el emisor puede enviar tramas de solicitud de envío (RTS) al receptor pidiendo hacer uso del canal, luego el receptor envía el permiso en una trama llamada listo para enviar (CTS), esta trama además es recibida por todos los nodos que comparte el medio dejando libre el canal [6].

#### **2.3.6. Proceso de enrutamiento**

ZigBee emplea enrutamiento mallado para establecer una ruta entre el dispositivo fuente y el destino. El enrutamiento mallado aprueba que los paquetes pasen por los diferentes nodos de la red si ha de ser necesario. Todos los tipos de dispositivos como los ZC y ZR pueden intervenir en una ruta entre nodos de origen y destino al querer enlazarse, esto se denomina descubrimiento de ruta. El proceso de descubrimiento de ruta está basado en el protocolo de enrutamiento vector distancia bajo demanda (AODV).



**Figura 2.14 Enrutamiento en una red**

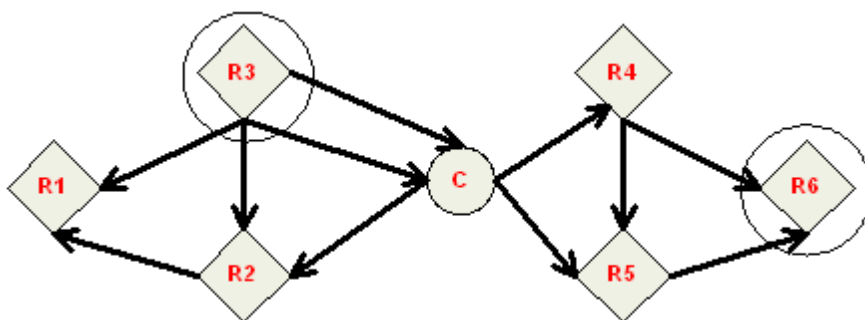
El enrutamiento bajo el protocolo AODV es logrado usando tablas en cada nodo que almacena el siguiente salto (nodos intermedios entre la fuente y el destino) hacia el nodo destino. Si el siguiente salto es desconocido, el descubrimiento de ruta se lleva a cabo con el fin de encontrar un camino.

**Tabla 1 Tabla de enrutamiento**

Nodo	Dirección de destino	Dirección de siguiente salto
A	Z	D
B	Z	E
C	Z	D

Cuando un nodo necesita descubrir una ruta hacia el nodo destino, este envía un paquete de solicitud de ruta vía difusión. Este paquete de solicitud de ruta contiene la dirección de red del origen, la dirección de red del destino y un campo para el costo del camino (una métrica que mide la calidad de la ruta). Como el paquete de solicitud de ruta es propagado a través de la red, cada nodo que retransmite el mensaje actualiza el costo del camino y crea una entrada temporal en su tabla de descubrimiento de ruta.

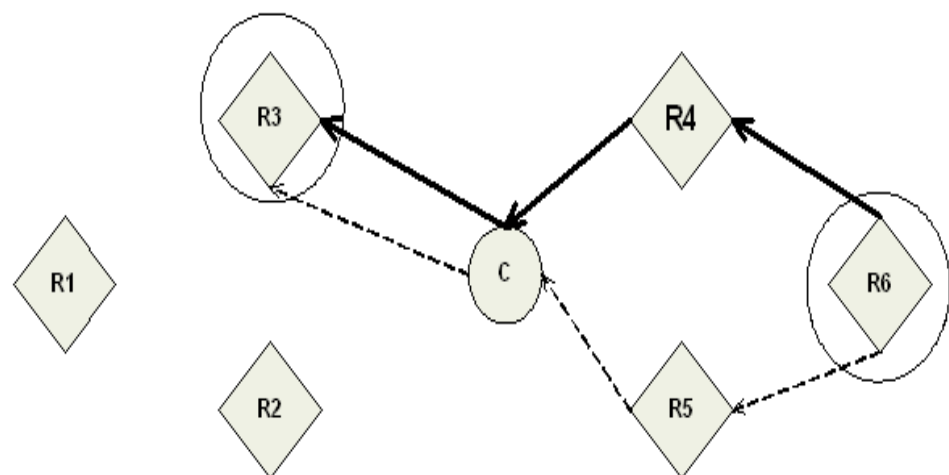
En la figura 2.15 vemos como el nodo R3 y R6 quieren entablar comunicación, por lo que se descubrirá una ruta donde el nodo R3 enviando una solicitud de ruta para efectuar el enlace.



**Figura 2.15 R3 Tratando de descubrir una ruta hacia R6**

Cuando el nodo de destino recibe una solicitud de ruta, este compara el campo 'costo del camino' contra paquetes de solicitud de ruta recibidos previamente. Si el costo del camino almacenado en la solicitud de ruta es mejor que algún otro mensaje, el nodo destino enviara un mensaje con la ruta a seguir por el nodo que solicito la conexión. Los nodos intermedios reciben y transmiten el paquete de respuesta de ruta.

La figura 2.16 muestra las rutas disponibles con el mejor costo de camino dando dos opciones posibles.



**Figura 2.16 R6 envía una respuesta de ruta (vía unicast) a R3**



ZigBee incluye paquetes de acuses de recibo en las capas Mac y Soporte de aplicaciones. Cuando el dato es transmitido a un dispositivo remoto este puede hacer múltiples saltos hasta lograr el destino. Como el dato es transmitido de un nodo a su vecino, un paquete de acuse de recibo (ACK) es transmitido por el vecino en dirección opuesta para indicar que la transmisión fue recibida exitosamente. Si el ACK no es recibido, el dispositivo transmisor retransmitirá el dato hasta 4 veces [7].

#### **2.4. Introducción a LabVIEW**

En la figura 2.17 se muestra el logo de LabVIEW propiedad de National Instruments (NI), es un software de desarrollo para la construcción de aplicaciones de ingeniería. LabVIEW es un software con sistema de programación gráfica que presenta las siguientes características:

- Las actualizaciones de hardware y software son comunes debido a su gran flexibilidad del sistema.
- El sistema de LabVIEW genera la adquisición, control, análisis de datos con su respectiva presentación.

- Su sistema se basa en un compilador gráfico que se denominará lenguaje G.
- Posee variedad de funcionalidades como subrutinas y gran cantidad de librerías.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.
- Tiene incorporada varias interfaces de comunicación como la USB, Puerto Serial, OPC, Puerto paralelos entre otros [8].



**Figura 2.17 Logo LabVIEW (tomado de la página de  
'National Instruments')**

#### **2.4.1. ¿Quiénes lo usan?**

Esta herramienta de programación gráfica es usada comúnmente por científicos e ingenieros de la mayoría de los campos para la solución a sus aplicaciones con mayores exigencias. También es usada por personas comunes para resolver problemas de tipo académico, todo esto debido a que el lenguaje de programación de LabVIEW es mucho más sencillo que los lenguajes tradicionales [9].

### **2.4.2. Entorno de LabVIEW**

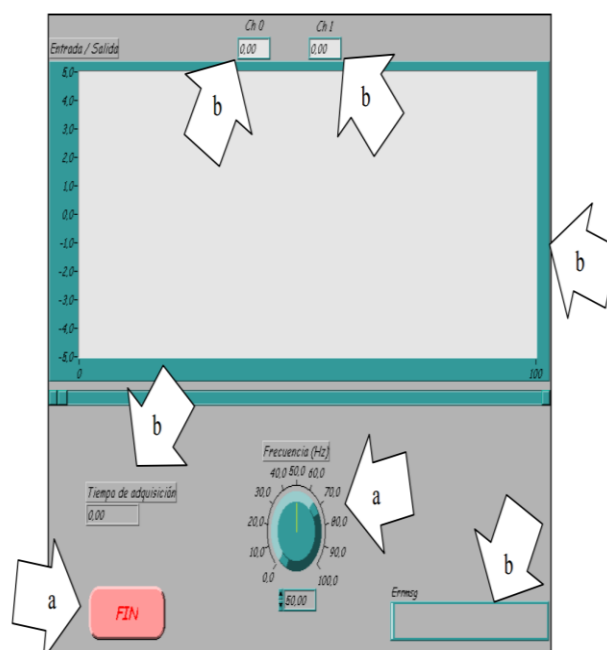
Los programas creados mediante LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VIs) que equivalen a miles de páginas de código de otras herramientas de programación, además su funcionamiento imitan los de un instrumento real. Pero son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Los VIs tienen una parte interactiva hacia el usuario y otra parte de código representado con bloques, y comparten parámetros con otros VIs.

Al crear un VI en LabVIEW se genera automáticamente un panel frontal y un diagrama de bloques. En estos entornos se da uso a paletas conectores de datos entre otros para la modificación del VI [8].

#### **Panel Frontal**

Es el producto final entregado al usuario donde podrá establecerse la interactividad; de manera que el usuario ingresa los parámetros deseados y el programa desarrollado en LabVIEW retorna una salida con los datos procesados.

Los parámetros de entrada toman el nombre de controlador, mientras que los datos presentados por el programa o salidas se denominan indicadores. El panel frontal se construye con un conjunto de Leds, pulsadores, gráficos, potenciómetros, sistemas de temperaturas, velocidad etc.



**Figura 2.18 Ejemplo del Panel Frontal.**

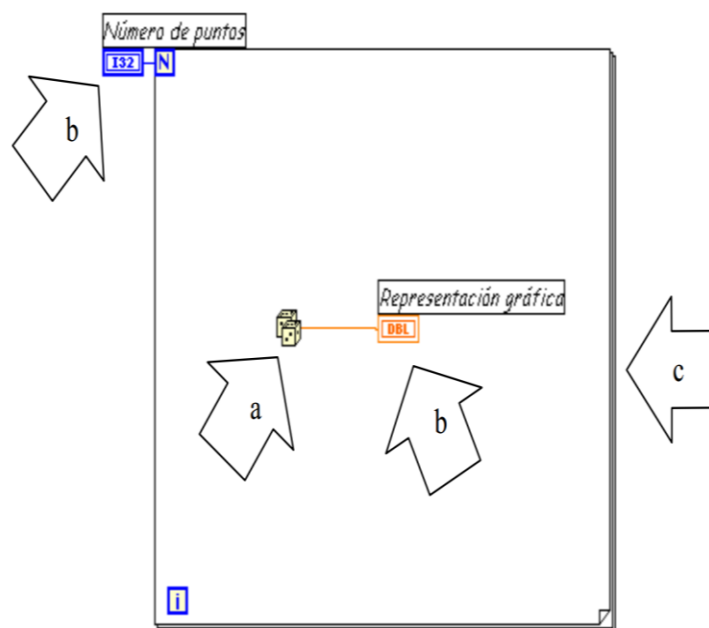
### Diagrama de Bloques

Aquí se realiza la programación e implementación del código fuente del VI pero de forma gráfica, la cual depende de los parámetros de entradas y salidas que se colocan en el panel frontal. El VI incluye funciones y diferentes tipos de estructuras

que corresponden al diagrama de bloques, que se encuentran en las librerías de LabVIEW.

Para el lenguaje G del sistema las funciones y estructuras son nodos fundamentales [8].

Los controles e indicadores que colocados previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales.



**Figura 2.19** Ejemplo del Diagrama de Bloques.

En la figura 2.19 se muestra un ejemplo de un diagrama de bloques donde se puede identificar a los controladores, indicadores, estructuras y funciones.

Después de buscar y ubicar los diferentes tipos de elementos de un VI se procede a conectarlos entre ellos según su aplicación, para que los datos tengan una fluidez entre terminales de entrada y salida [8].

## 2.5. Introducción a XCTU

La multiplataforma XCTU es una aplicación desarrollada por la Digi el cual facilita al usuario interactuar con módulos de transmisión y recepción XBee .La nueva versión de este software aumenta la funcionalidad que permite realizar un análisis más profundo sobre una red creada.



**Figura 2.20 Pantalla de inicio de XCTU**

La figura 2.20 muestra la pantalla de inicio de XCTU, la cual contiene herramientas que un programador requiere para la rápida configuración de los módulos XBee. Las características como la visualización de la topología de red, que representa gráficamente la red XBee junto a la fuerza de la señal recibida (RSSI) y el formador de tramas API XBee, que intuitivamente ayuda a construir e interpretar las tramas API, se combinan para hacer que el desarrollo en la plataforma XBee sea más sencillo.

A continuación se mencionan algunas de las principales características de XCTU.

- Se puede configurar cada módulo RF mediante la conexión cableada USB o de manera remota.
- Los modos de trabajo API y AT, se han diseñado desde cero para comunicarse a los dispositivos de radio.
- XCTU incluye un conjunto de herramientas integrados que se pueden ejecutar sin tener ningún módulo de RF conectado:
  - **Generador de Tramas:** La generación de la trama corresponde al modo API para guardarla.

- **Intérprete de Tramas:** Decodifica una trama API y se ve sus valores de trama.
- **Recuperación:** Recuperar módulos de radio que han dañado el firmware o están en el modo de programación.
- **Sesión de la consola de carga:** Carga una sesión de consola guardado en cualquier XCTU PC en funcionamiento.
- **Prueba de Rango:** Entre dos dispositivos RF en la red, calcula la potencia remota y local.
- **Explorador de Firmware:** Actualiza su firmware para añadirlo a la biblioteca del XCTU.
- El proceso de actualización le permite actualizar automáticamente la aplicación en sí y el firmware de la biblioteca de radio sin necesidad de descargar ningún archivo extra.
- XCTU contiene documentación completa y exhaustiva que se puede acceder en cualquier momento [10].

## 2.6. Modelo de Propagación

El modelo de propagación es de mucha ayuda, para diseñar redes de comunicaciones inalámbricas ya que se incluyen condiciones ambientales, geográficas, topográficas, ubicación de los equipos y



demás parámetros, con el fin de analizar los factores que permitan obtener la mayor cobertura en la red [11].

### **2.6.1. ¿Por qué realizar estudios de propagación?**

La razón por la cual se realiza dichos estudios de propagación es debido a las especificaciones y características que se mencionan a continuación:

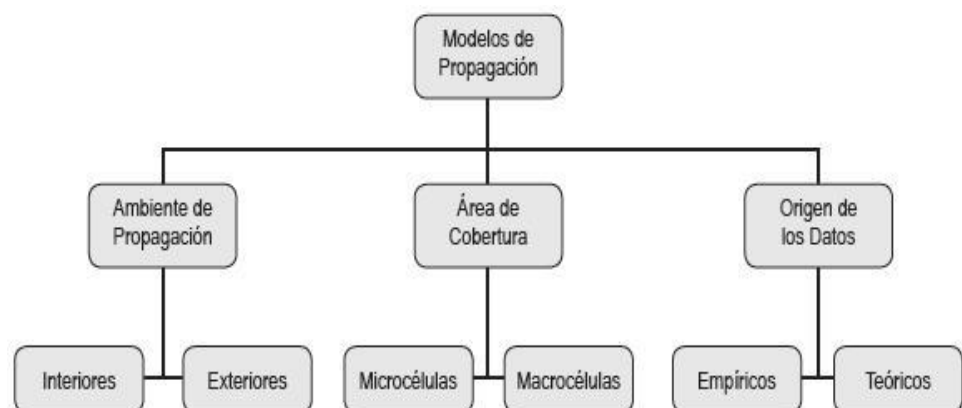
- ✓ La caracterización precisa del canal de radio a través de sus parámetros relevantes y de un modelo matemático, es importante para predecir lo siguiente:
  - La cobertura de la señal.
  - Las velocidades de datos alcanzables.
  - La velocidad de fluctuación del canal.
  - El análisis de la interferencia.
  - Determinar los mejores esquemas de recepción y señalización.
  - Encontrar la ubicación óptima de las Estaciones Bases.
- ✓ La cobertura de la señal está determinada por el gradiente distancia-potencia, o de pérdida de paso.

- ✓ La velocidad de transmisión de datos está limitada por la estructura de multipaso del canal, y por las características de debilitamiento de los componentes multipaso.
  
- ✓ La velocidad de fluctuación del canal tiene que ver con elementos del diseño del receptor, tales como:
  - El reloj.
  - La sincronización de la portadora.
  
- ✓ Para los sistemas de banda angosta tales como: teléfonos inalámbricos, teléfonos celulares 1G-2G y sistemas de transmisión de datos de baja velocidad, tenemos que la cobertura de la señal y el debilitamiento lento (slow fading), son los parámetros más importantes.
  
- ✓ Para los sistemas de banda ancha de alta velocidad, tales como: los celulares 3G, WiMAX y las WLAN's, se tiene que el Esparcimiento de Retrasos de Multipaso, es el parámetro más importante.
  
- ✓ Las propiedades del canal de radio también son importantes para:
  - Determinar el Consumo de la Batería
  - El diseño de los protocolos de la capa MAC

- El diseño de antenas inteligentes y adaptativas (Sistemas 4G)
- El diseño de protocolos inalámbricos (handoff, control de potencia, entre otros) [11].

### 2.6.2. Clasificación de los modelos de propagación

Inicialmente se hace una breve reseña de los criterios para la clasificación de los modelos de propagación, como se presenta en la figura 2.21.



**Figura 2.21 Clasificación de los modelos de propagación.**

Dentro de los modelos que se usan en el estudio de entornos de telefonía móvil, predomina el modelo sin línea de vista, aunque no se deben descartar los que tienen línea de vista. En general se basan todos ellos en medidas experimentales [12].

### 2.6.3. Modelo dependiente de las particiones de un sitio

Dicho modelo se lo aplica por lo general en propagaciones en interiores, e incluye todos los obstáculos que encuentra la señal al pasar por diferentes tipos de paredes y pisos, por lo cual es importante tener datos concretos de la edificación donde se pretende saber las pérdidas [11].

El modelo dependiente de las particiones de un sitio está dado por la siguiente ecuación:

$$L_p = L_o + 20 \log d + \sum_{\text{tipo}} m_{\text{tipo}} W_{\text{tipo}} \quad (2.1)$$

Donde:

$m_{\text{tipo}}$  Es el número de particiones de un 'tipo' en particular.

$W_{\text{tipo}}$  Es la pérdida de potencia asociada a dicho tipo de partición.

$L_o$  Es la pérdida de paso (o de la señal) a una distancia de 1 m.

Para poder estimar los valores de pérdida de la señal por cada tipo de obstáculo se utilizan las tablas 2 y 3.

**Tabla 2 Valores de pérdida por tipo de obstáculo**

<b>Atenuación de una Señal de 2.4 GHz</b>	<b>dB</b>
Ventana en una pared de ladrillos	2
Pared de Vidrio, con bordes metálicos	6
Pared de Oficina	6
Puerta metálica en una pared de oficina	6
Pared hecha con Ceniza volcánica	4
Puerta metálica en una pared de ladrillos	12.4
Pared de ladrillos junto a la puerta metálica	3

**Tabla 3 Valores de pérdida por tipo de obstáculo (2)**

<b>Tipo de Pérdida</b>	<b>Rango de atenuación (dB)</b>
Pérdidas a través de los pisos	13 - 27
Pérdidas en paredes ligeras de madera, puertas.	2 - 4
Pérdidas en paredes gruesas, tabiques de ladrillo, cemento.	8 - 12

## 2.7. Temperatura del cuerpo humano

La temperatura corporal permite evaluar la eficiencia de la regulación térmica que se presenta en el cuerpo humano en función de los cambios en la temperatura ambiental y la intensidad de la actividad realizada.

La temperatura corporal depende de las condiciones de temperatura ambiental y de actividad física, ya que de la energía total liberada durante el metabolismo se emplea aproximadamente una quinta parte en el trabajo y lo demás se libera en forma de calor; este calor debe ser disipado para mantener las condiciones de temperatura adecuadas en el cuerpo humano. Hay dos tipos de temperaturas:

- La temperatura central (núcleo: cerebro, grandes vasos, vísceras, músculo profundo, sangre) se mantiene constante.
- La temperatura periférica (piel, mucosas, músculos, extremidades, etc.) es variable.

La temperatura normal del cuerpo de una persona varía dependiendo de su género, su actividad reciente, la hora del día,

consumo de alimentos y líquidos. En las mujeres también depende de la fase del ciclo menstrual en la que se encuentren [13].

### **2.7.1. Temperatura promedio del cuerpo humano**

La temperatura normal del cuerpo humano oscila entre 36,5°C y 37,5°C, en la especie humana, se considera fiebre un aumento de la temperatura corporal, con medidas en la axila, superior a 38°C. A continuación se enlistan las reacciones del ser humano a las diferentes temperaturas corporales [14]:

- ✓ **36°C.**-En promedio se considera la temperatura normal entre 36°C a 37.5°C.
- ✓ **39°C.**-La persona presenta excesivo sudor sintiendo agotamiento y taquicardias; a los epilépticos y niños les causa convulsiones llegados a este punto.
- ✓ **40°C.**-Constantes mareos, niveles de deshidratación altos que causan debilidad y vómitos.
- ✓ **41°C.**-Se presentan los mismos síntomas al anterior pero a una escala más elevada con alucinaciones y delirio.
- ✓ **42°C.**-Se puede llegar al coma según el organismo con hipertensión y una gran taquicardia.

- ✓ **43°C o superior.**-En esta etapa se da la muerte del paciente o puede dejar grandes daños al organismo con continuas convulsiones dando la posibilidad de un paro cardiorrespiratorio.

### **2.7.2. Recomendación de medición de temperatura corporal**

Aunque la temperatura corporal puede ser medida en diferentes lugares del cuerpo humano, la boca el oído, la axila y el recto, que son los más comunes, también se puede tomar lectura en la frente; a continuación se detallan los más importantes:

**Oral.-** Se recomienda no ingerir alimentos calientes porque influye en la medición. La máxima temperatura de un adulto es de 37 °C aproximadamente, mientras que la de las personas mayores es de 36 °C. La temperatura normal para un niño está entre los 36.4° y 37.4° C. No se aconseja realizar esta medición con termómetros de mercurio por su toxicidad [15].





**Figura 2.22 Medición Oral**

**Rectal.-** Usualmente usado en bebés. Oscila normalmente entre los  $36^{\circ}$  a  $37.7^{\circ}\text{C}$ , siendo más elevada y con mayor exactitud comparada con las medidas en otros lugares, suele ser  $0,5^{\circ}\text{C}$  mayor a la medición oral.

**Axilar.-** Se realiza colocando el termómetro entre el brazo y la axila. La temperatura bajo el brazo está en el rango de  $35.5^{\circ}\text{C}$  a  $36.7^{\circ}\text{C}$ . Dado que el termómetro no está dentro del cuerpo humano sino en su superficie, la medición es inferior a la obtenida por otros métodos.



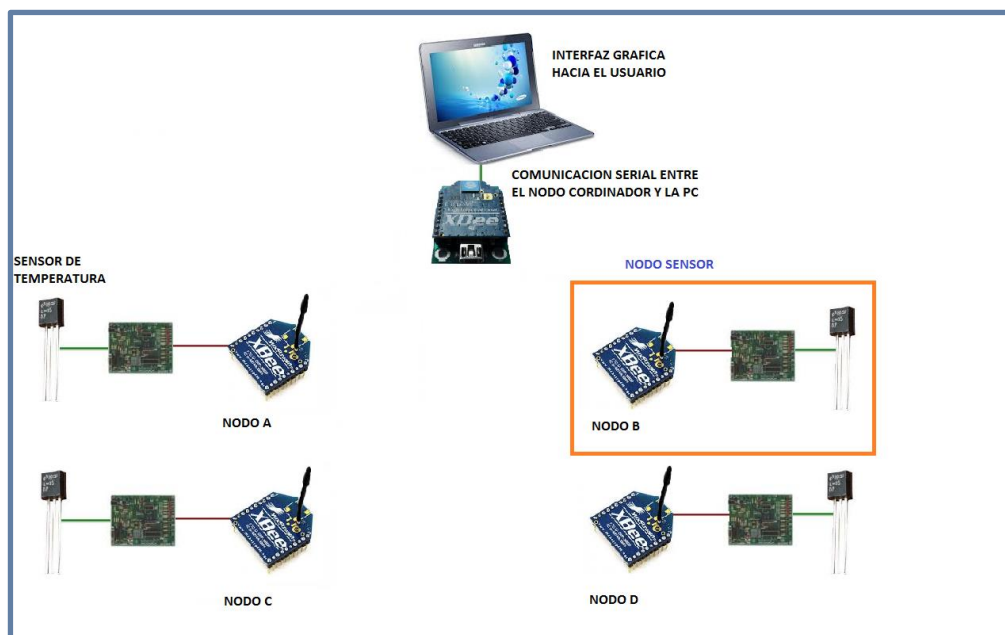
**Figura 2.23 Medición Axilar**

**En el oído.-** También conocida como temperatura de la membrana timpánica la cual refleja la temperatura de los órganos internos. Los termómetros son especiales y veloces. El rango normal se encuentra entre los 35.5 °C y 37.5°C [15].

## **CAPÍTULO 3**

### **3. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN**

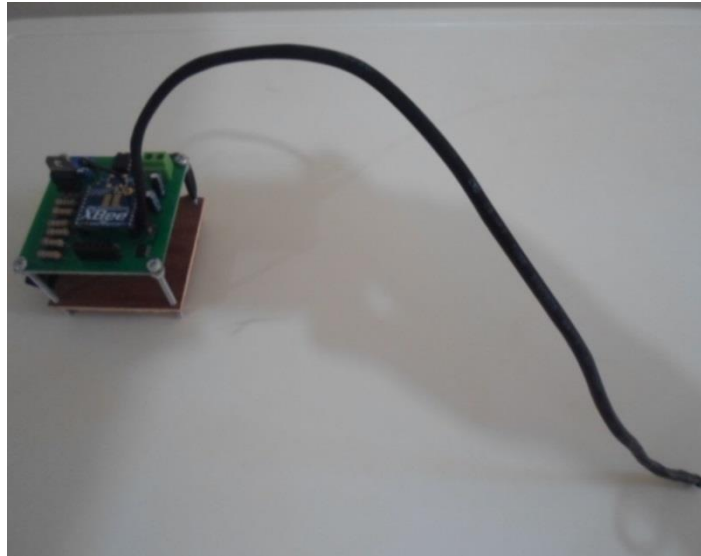
En el presente capítulo se explicará el diseño e implementación de los circuitos electrónicos con el funcionamiento de cada una de sus etapas: fuentes de alimentación basadas en el regulador LM317; obtención de datos del sensor con el sensor LM35; amplificación de la señal de temperatura implementado con el amplificador operacional LM358; conversión analógica/digital y creación de tramas a cargo del microcontrolador 12LF1822; transmisión entre nodos gracias a los módulos XBee; transmisión hacia el computador usando el dispositivo XBee Explorer, más la presentación de las mediciones con LabVIEW.



**Figura 3.1 Diagrama Esquemático**

En la figura 3.1 se muestra un esquema general del prototipo en donde se observan los principales componentes utilizados en el diseño. Para evitar confusiones, la unión del sensor de temperatura con la placa electrónica y el módulo XBee tomará el nombre de 'Nodo Sensor'; mientras que el módulo XBee será llamado 'Nodo'.

En la figura 3.2, se muestra el nodo sensor implementado en su totalidad, se utilizó una película termoretráctil para proteger del ambiente, al cable que une el sensor con la placa.



**Figura 3.2 Nodo Sensor**

A continuación la figura 3.3 muestra una vista superior y ampliada del nodo sensor; cabe recalcar que la red está conformada por cuatro de éstos.



**Figura 3.3 Vista superior del nodo sensor**

### 3.1. Descripción técnica de los componentes

En esta sección se presentan los componentes que forman parte del diseño de la solución, con la correspondiente descripción de sus características principales.

#### 3.1.1. Módulo XBee serie 2

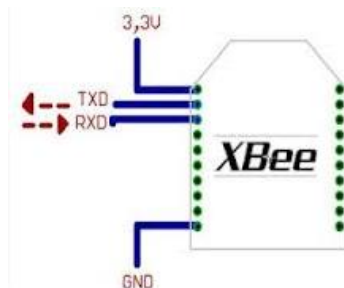
Los módulos XBee que se observan en la figura 3.4 son dispositivos electrónicos que se comunican entre sí de manera inalámbrica utilizando el protocolo IEEE802.15.4 mejor conocido como ZigBee. Estos módulos ofrecen soluciones en 2.4 GHz, además proveen comunicaciones robustas en configuraciones punto a punto, punto multipunto, y creando redes malladas. La configuración se realiza a través de comandos 'AT' por medio de la herramienta XCTU. Algunos de estos comandos son:

- ✓ **ATDH.**- Dirección de destino alta.
- ✓ **ATDL.**- Dirección de destino baja.
- ✓ **ATCH.**- Canal de operación.
- ✓ **ATID.**- Identificador de red (PAN-ID) 16 bits [16].



**Figura 3.4 Módulo XBee**

La figura 3.5 muestra las conexiones mínimas necesarias para que el módulo XBee sea utilizado.



**Figura 3.5 Conexión básica (tomada de la hoja de datos del fabricante)**

En la tabla 4 se muestran las características y las especificaciones técnicas del módulo XBee. El dispositivo XBee trabaja con una fuente de alimentación en el rango: 2.8V a 3.4V, luego el envío de

datos es realizada a través del UART para comunicarse con un microcontrolador.

**Tabla 4 Especificaciones técnicas del XBee S2 (tomado de la hoja de datos del fabricante)**

<b>Características y especificaciones técnicas del XBee serie2</b>		
<b>Rendimiento</b>	Cobertura en interiores.	Hasta 133 pies (40 m)
	Cobertura con línea de vista.	Hasta 400 pies (120m)
	Potencia de salida transmitida.	2mW ( 3 dBm)
	RF, Velocidad de datos.	250 Kbps.
	Velocidad de datos para la interfaz serial.	1200 hasta 230400 bps
	Sensibilidad del receptor.	-95 dBm
<b>Requerimientos de potencia</b>	Suministro de voltaje	2.8 – 3.4 V
	Corriente en la transmisión	40 mA (@ 3.3 V)
	Corriente en la recepción	40 mA (@ 3.3 V)
	Corriente de baja potencia	< 1uA @ 25°
<b>Información general</b>	Banda de frecuencia	2.4 GHz
	Temperatura de operación	-40 a 85° C (industrial)
	Opciones de Antena	Chip, RPSMA, o U.FL Conector
<b>Trabajo en Red y Seguridad</b>	Topologías de red	Punto a punto, punto a multipunto, igual a igual (PtP).
	Número de canales	16 Canales de secuencia directa
	Opciones de dirección	PAN ID



Los módulos cuentan con un buffer tanto en la entrada como a la salida de los datos, en ambos casos el buffer puede almacenar hasta 100 Bytes de información.

XBee provee 2 tipos de comunicación, listados y detallados a continuación:

### **Modo AT**

La comunicación se asemeja a un enlace serial virtual entre dos módulos, los datos ingresados por el pin 3, son almacenados en un buffer de entrada y transmitido posteriormente. Todos los datos luego ingresarán como paquetes RF y serán almacenados en el buffer de salida, para finalmente ser transmitidos por el pin 2 hacia un microcontrolador típicamente. El modo AT viene como configuración de fábrica en los dispositivos. Sus principales desventajas son: no enviar información respecto a la topología de la red, tampoco de los niveles de potencia recibido por cada nodo, ni permitir cambiar el modo de trabajo de los demás nodos que conforman la red de forma remota. Todo esto por no trabajar con diferentes tipos de tramas.

## Modo API

Es un método de envío y recepción de datos, basado en tramas desde y hacia el enlace serial UART del módulo. Aquí un microcontrolador externo es el encargado de crear un paquete que cumpla con los estándares API para poder ser procesado. API permite al programador:

- ✓ Cambiar parámetros sin ingresar al modo de comandos.
- ✓ Ver el RRSI y la dirección de origen de un paquete.
- ✓ Observar la topología de la red.
- ✓ Recibe la confirmación de entrega de paquetes en cada paquete recibido [17].

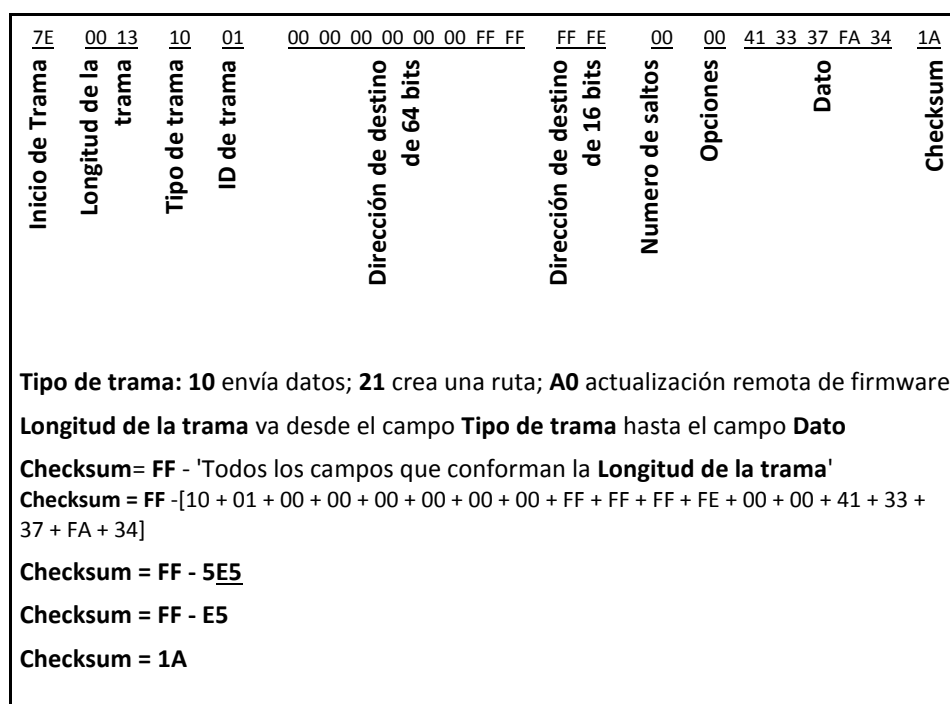


Figura 3.6 Trama API

En la figura 3.6 se muestra la trama de datos que cada nodo enviará al coordinador, la parte de la trama que varía es la del dato, que cambiará según el registro de temperatura del sensor LM35; el primer byte del dato enviado a la trama corresponde a un identificador de los nodos sensores, que en este caso es el byte en hexadecimal 41 que corresponde a la letra 'A' en ASCII. También hay que tomar en cuenta, que cada trama tendrá su checksum respectivo, el cual es el identificador que el nodo coordinador recibe y se encargará de aceptar o rechazar la trama.

### **3.1.2. XBee Explorer**

El XBee Explorer de la figura 3.7, es una placa electrónica de comunicación serial a través de USB, diseñada para permitir interacción entre los dispositivos XBee y una computadora. Luego, a través de un cable mini-USB se logran transferencias con un rango de 300 baudios hasta 3 Mbaudios, capaz de soportar paquetes de 7 a 8 bits de datos, con 1 o 2 bits de parada y paridad par/impar/espacio. Cuenta con indicadores LED para el voltaje de alimentación de 3.3V y para el indicador de actividad XBEE (RSSI), para la transmisión y recepción de datos [18].



**Figura 3.7 XBee Explorer USB (tomado de la página de ideas  
'Ideas & Tecnologías')**

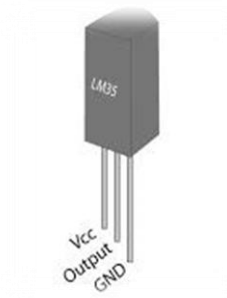
### **3.1.3. Sensor de temperatura**

La serie LM35 (figura 3.8) es un sensor de temperatura de precisión, cuyo voltaje de salida es linealmente proporcional a la temperatura en grados centígrados. El LM35 no requiere ninguna calibración externa para proporcionar una precisión típica de +/- 0.25°C en temperatura ambiente.

La baja impedancia de salida, la salida lineal y la nula necesidad de calibración permitan crear circuitos de lectura y control de manera sencilla.

El LM35 consume solo  $60\mu\text{A}$  de corriente y tiene calentamiento alrededor del  $0.1^\circ\text{C}$ , tiene previsto trabajar en el rango entre  $-55^\circ\text{C}$  hasta  $+150^\circ$ , con un voltaje de alimentación entre 4 y 30V.

El factor de escala lineal es  $+10\text{mV}/^\circ$ ; por ejemplo  $27^\circ\text{C}$  reflejaría una tensión de 0.27V en el pin de salida [19].



**Figura 3.8** Sensor de temperatura LM35

#### **3.1.4. Microcontrolador PIC 12LF1822**

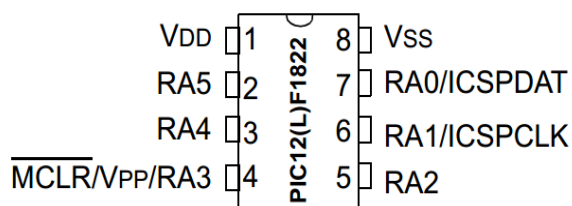
Microcontrolador de soldadura superficial de 8 pines, el ancho del bus de datos es 8bits, cuenta con una memoria RAM de 128 Bytes, el tamaño de la memoria programable es de 3.5 KBytes y el tamaño de la memoria EEPROM es de 256 Bytes. La velocidad máxima del oscilador interno es de 32 Mhz teniendo disponible la opción de un oscilador externo. Cuenta con periféricos ADC, un canal PWM y comunicación serial UART.

La tabla 5 muestra especificaciones técnicas del microcontrolador; la tabla 6 describe los pines usados durante la programación.

**Tabla 5 Especificaciones técnicas del PIC 12LF1822 (tomado de la hoja de datos del fabricante)**

<b>ESPECIFICACIONES TECNICAS</b>	
Voltaje de alimentación operativo	1.8 V a 5.5 V
Rango de Temperatura	-40 °C a 125 °C
Tipo de memoria programada	Flash
Periféricos de Comunicación Digital	1-UART, 1-A/E/USART, 1-SPI, 1-I2C1-MSSP(SPI/I2C)
Tipo de Ram de datos:	EEPROM
Tamaño de RAM de datos:	256 Bytes
Frecuencia de reloj máxima	32 MHz
Ancho de bus de datos	8 bit
Conversión analógico-digital en chip:	Si
Canales A/D disponibles	4
Tamaño de bits A/D	10 bits
Número de entradas / salidas programables.	6

En la figura 3.9 se observa el diagrama del PIC 12LF1822 con su respectiva ubicación de cada uno de los pines.



**Figura 3.9** Diagrama del PIC [20]

**Tabla 6** Descripción de Pines del PIC 12LF1822 (tomado de la hoja de datos del fabricante)

Nombre del Pin	Durante la programación		
	Función	Tipo de Pin	Descripción del Pin
RA1	ICSPCLK	E	Clock Input – Schmitt Trigger Input
RA0	ICSPDAT	E/S	Data Input/Output – Schmitt Trigger Input
RA3/MCLR/VPP	Programa/Modo de Verificación	P	Modo de selección de programa / programación de fuente de alimentación
VDD	VDD	P	Fuente de alimentación
VSS	VSS	P	Tierra

### 3.2. Diagrama de bloques

En este subcapítulo se detalla cada sección del diagrama de bloques que se muestra en la figura 3.10; cabe recalcar que todas las etapas en conjunto con forman un nodo sensor.

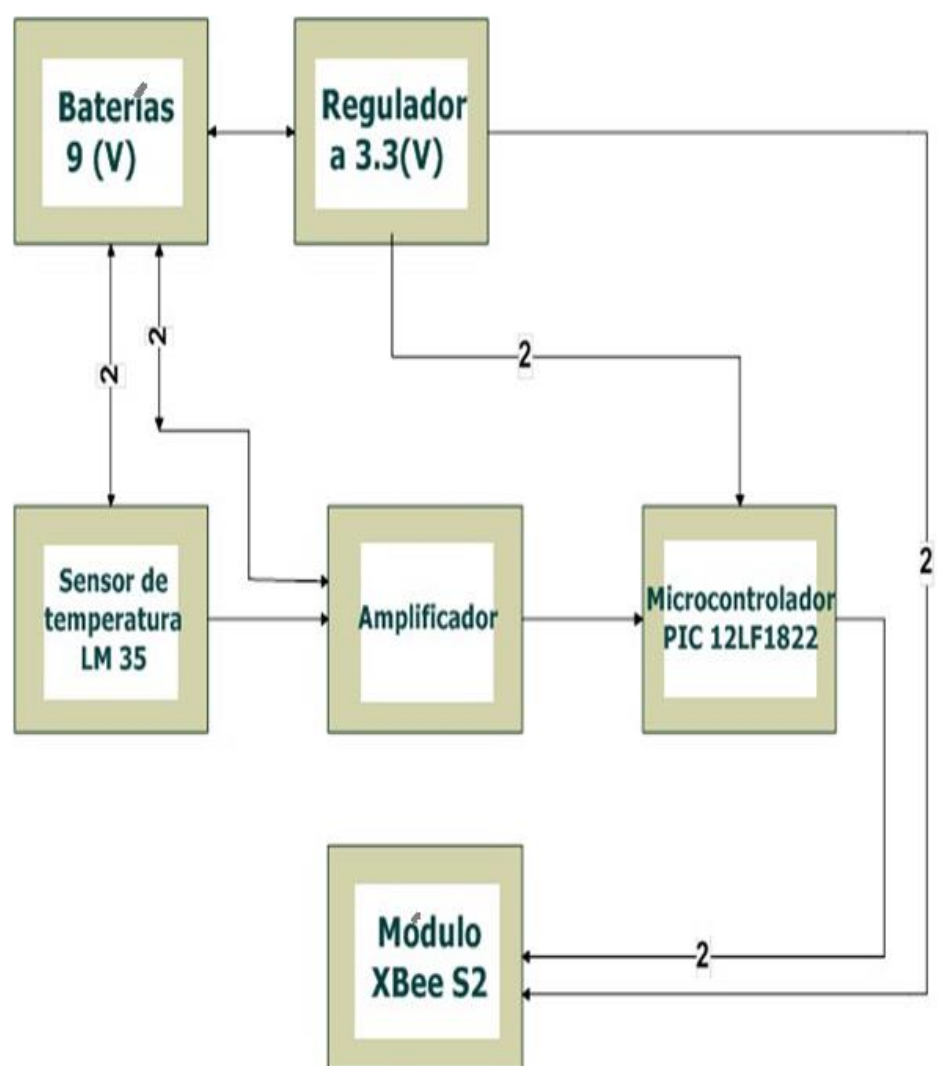


Figura 3.10 Diagrama de bloques de cada nodo sensor



### 3.2.1. Fuente de alimentación

El diseño de la solución implica el uso de dos fuentes de alimentación de corriente continua, una de 9VDC y otra de 3.3VDC. La fuente de 9VDC servirá para energizar el amplificador operacional LM741, el cual se obtiene directamente de una batería. La fuente de 3.3VDC servirá para energizar al microcontrolador y al module XBee-S2, este valor de voltaje se obtiene del circuito basado en el regulador LM317. En la figura 3.11 se visualiza como se estructura dicha fuente.

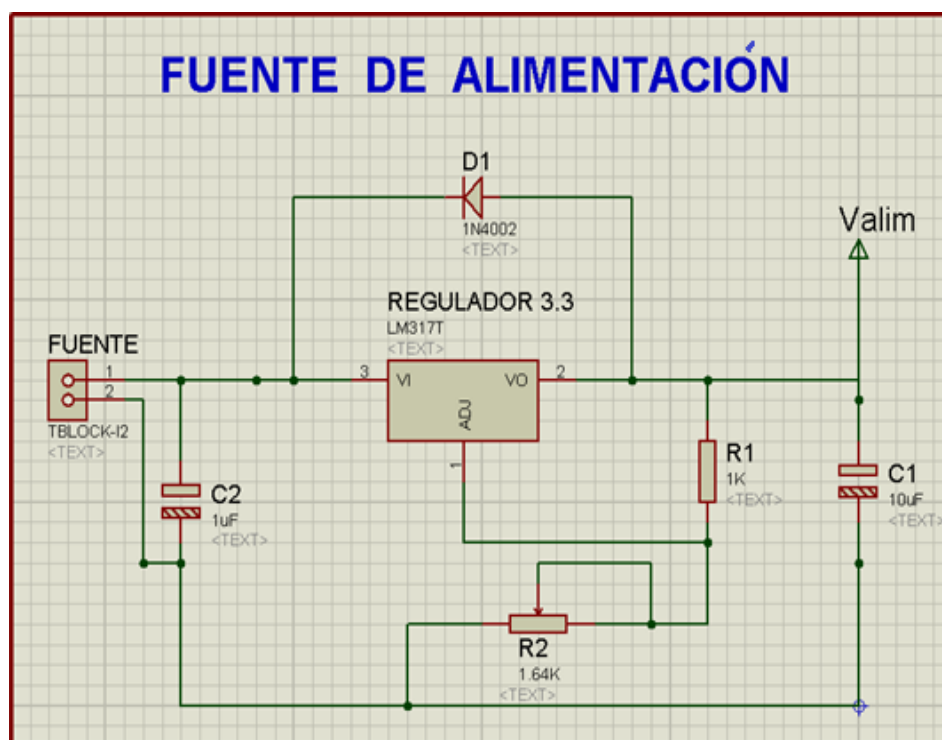


Figura 3.11 Fuente de alimentación

### 3.2.2. Obtención de datos del sensor

Inicialmente se tiene que considerar el funcionamiento del sensor LM35, quien entrega en su pin de salida 10mV por cada grado centígrado, siendo este valor una señal analógica. La máxima temperatura que puede detectar el sensor es 150°C, entonces tenemos que el voltaje máximo de salida es  $10\text{mV} \times 150 = 1.5\text{V}$ , como cota superior y 0°C que reflejara 0V en su cota inferior, esto por funcionar con una fuente positiva. Sin embargo por el tipo de aplicación el rango de trabajo real estará entre 35°C y 42°C. El circuito electrónico implica conectar el pin 1 a +Vcc, el pin 3 a tierra, mientras el pin 2 es la lectura del sensor.

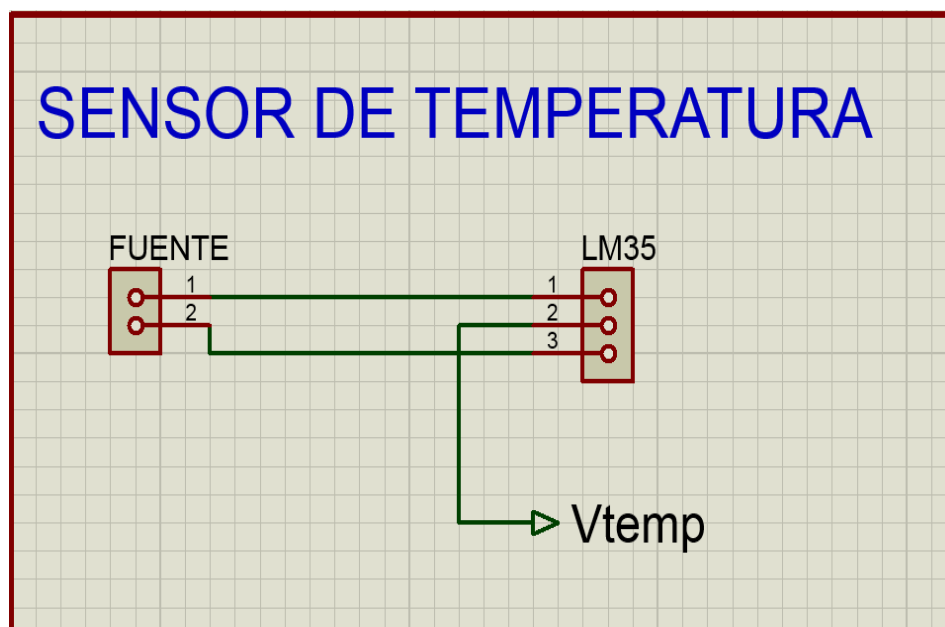


Figura 3.12 Obtención de datos del sensor de temperatura

### 3.2.3. Amplificación de la señal de temperatura

Con el objetivo de obtener una mejor medición y resolución de la señal de temperatura, se amplifica la señal dentro del rango de interés, limitado por el voltaje offset del amplificador, como analizamos a continuación:

$150^{\circ}\text{C} \rightarrow 1500 \text{ mV} \times 6.6 \rightarrow 9.9\text{V} \rightarrow \text{cota del OPAMP} \rightarrow 7\text{V} \rightarrow 70^{\circ}\text{C}$

$-55^{\circ}\text{C} \rightarrow -550 \text{ mV} \times 6.6 \rightarrow -3.63\text{V} \rightarrow \text{cota del OPAMP} \rightarrow 0\text{V} \rightarrow 0^{\circ}\text{C}$

En la figura 3.13 se observa la señal de temperatura ( $V_{\text{temp}}$ ) que proviene del sensor de temperatura LM35, luego del proceso de amplificación se obtiene la señal amplificada ( $V_{\text{ampl}}$ ) que se enviará a la etapa de conversión analógica/digital.

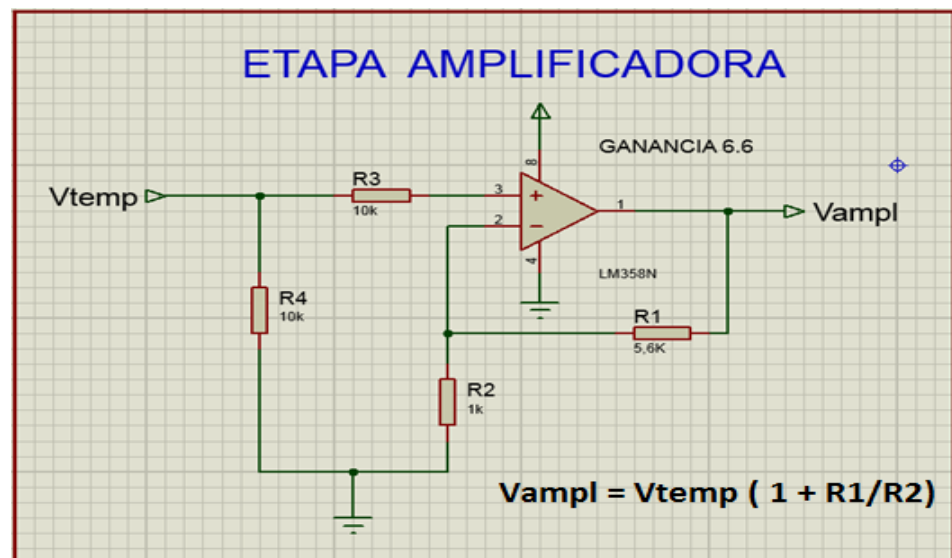


Figura 3.13 Etapa de amplificación

### 3.2.4. Conversión analógica/digital y creación de tramas

Luego que la señal de temperatura ha sido amplificada, se necesita hacer la conversión analógica/digital de la misma, de esta manera la señal presentara mayor inmunidad ante el ruido que se presenta en la transmisión y para que los datos puedan ser interpretados por la computadora. Además el envío de datos debe cumplir un tipo de trama para no ser descartado.

El microcontrolador PIC 12LF1822 superficial fue la mejor opción para el diseño de la solución debido a su pequeño tamaño, adicional se tuvo que colocar espadines hembras conectados directamente a los 5 pines del microcontrolador que permiten cargar nueva información en el microcontrolador estando soldado a la placa, los pines utilizados son: Vcc, Gnd, Mclr, Dato, Reloj.

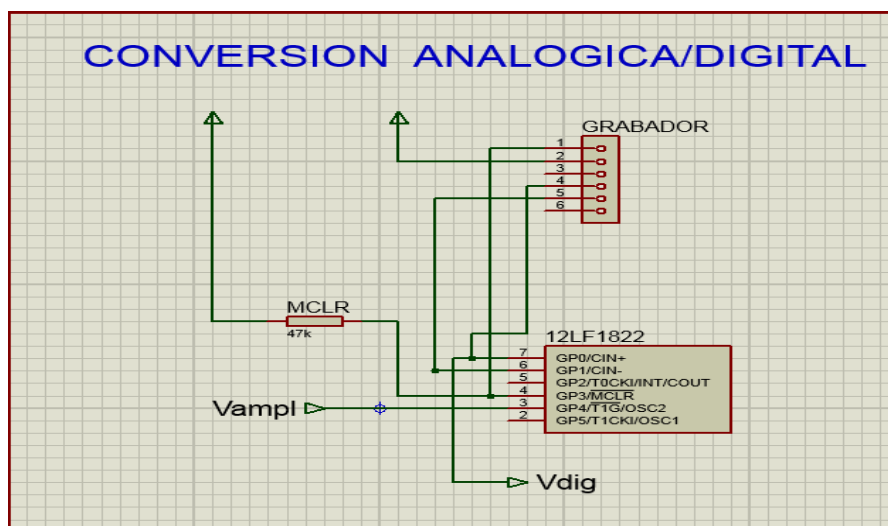


Figura 3.14 Conversión analógica/digital

La figura 3.15 muestra la inicialización de la transmisión UART, la variable de tipo 'string' que contiene la información digital con resolución de 10 bits es 'txt'. El dato que sale de la conversión analógico/digital está en el rango de entre 0 y 1024 por lo que debe ser re-convertido a la señal de temperatura original. Para llevar a cabo esta re-conversión se debe mostrar cómo se ejecuta la conversión analógico/digital.

El valor que ingresa al conversor fue previamente amplificado y convertido de una señal de temperatura a una señal de voltaje, luego en un ejemplo puntual para una temperatura de 30°C se tiene 1.98v; para pasar a un valor de entre 0 y 1024 se usa una regla de 3, donde 3,3v el límite de operación del PIC equivale a 1024, se tiene:

$$3,3/1,98 = 1024/x \quad \mathbf{(3.1)}$$

$$x = 614,4$$

Luego la reconversión implica los pasos contrarios

$$y = x * 3.3 / 1024 \quad \mathbf{(3.2)}$$

Retirando el valor 6.6 correspondiente a la ganancia de amplificación tenemos:

$$y' = y * 1/6,6 \quad \mathbf{(3.3)}$$

Finalmente una multiplicación para convertir la señal de voltaje en el valor de temperatura inicialmente censado:

$$y'' = y' * 100 \quad \mathbf{(3.4)}$$

El proceso se evidencia en las líneas de código luego de llamar a la función 'ADC\_READ()' la cual realiza la conversión.

```
UART1_Init(19200);           // Initialize UART module at 9600 bps
Delay_ms(100);              // Wait for UART module to stabilize
PORTA=0XFF;
}
void main() {
config();
do {
temp_res = ADC_Read(3);      // Get 10-bit results of AD conversion
floatvar = (float)temp_res*99/2048;
FloatToStr(floatvar, txt);
```

**Figura 3.15 Código para la conversión analógica/digital**

La figura 3.16 presenta las líneas usadas para realizar la transmisión de la trama API gracias a la función UART\_Write a través de comunicación serial.

```

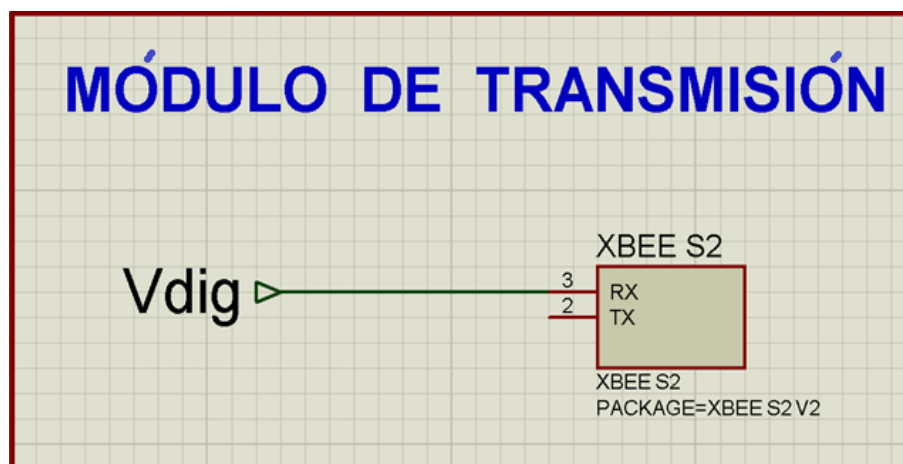
UART1_Write (0x7E);    //Inicio de trama
UART1_Write (0x00);    //Longitud de trama
UART1_Write (0x13);
UART1_Write (0x10);    //Tipo de trama
UART1_Write (0x01);    //ID de trama
UART1_Write (0x00);    //Direccion de destino
UART1_Write (0x00);    //de 64 bits
UART1_Write (0x00);
UART1_Write (0x00);
UART1_Write (0x00);
UART1_Write (0x00);
UART1_Write (0xFF);
UART1_Write (0xFF);
UART1_Write (0xFF);    //Direccion de destino
UART1_Write (0xFE);    //de 16 bits
UART1_Write (0x00);    //Numero de saltos
UART1_Write (0x00);    //Opciones
UART1_Write (0x45);    //DATO:ID de nodo
for(i=0;i<4;i++)
{
  UART1_Write(txt[i]); //DATO
}
UART1_Write (chkm);    //Checksum
Delay_ms(100);
  UART1_Write(10);     //Salto
  UART1_Write(13);     //Retorno de linea
} while(1);

```

**Figura 3.16 Código para envío de la trama**

### 3.2.5. Transmisión entre cada nodo sensor y el dispositivo coordinador

Al módulo XBee llega una señal digital amplificada y en texto plana, la cual está lista para ser transmitida, esto se realiza en bandas de frecuencia de uso libre (2,4 GHz). Existen 16 canales disponibles con 5 MHz de frecuencia entre ellos, partiendo de la frecuencia 2.405 GHz, se llega hasta los 2.480 GHz.



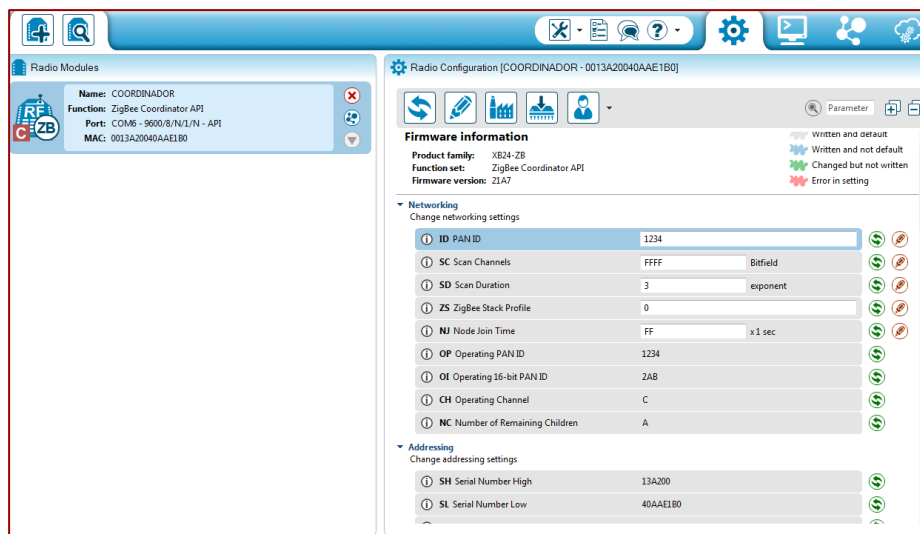
**Figura 3.17 Módulo de transmisión**

Para que los módulos de transmisión puedan intercambiar información entre ellos deben cumplir ciertos requisitos: deben pertenecer todos los dispositivos a la misma red, es decir, deben tener el mismo PAN-ID (Personal Area Network), y trabajar todos en el mismo canal.

El PAN-ID configurado para todos los nodos es el 1234 y el canal utilizado es el C.

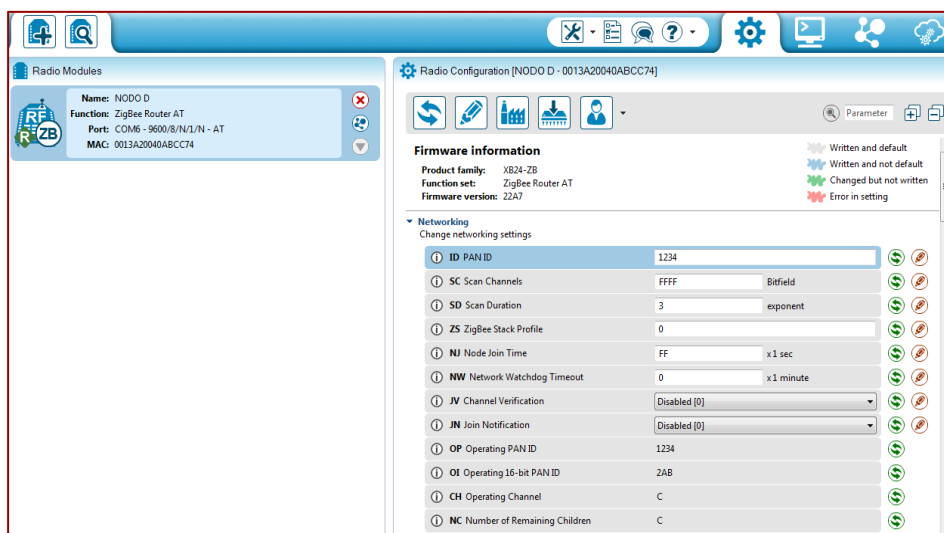
La figura 3.18 muestra los parámetros configurados en el dispositivo coordinador, el cual trabaja como 'ZIGBEE Coordinado API', lo que le permite interpretar las tramas que llegan de todos los dispositivos que conforman la red.





**Figura 3.18 ZigBee Coordinador API**

Por otra parte la figura 3.19 muestra los parámetros configurados en los dispositivos enrutadores, quienes se muestran como 'ZigBee Router AT'. Estos dispositivos encontraran los mejores caminos para transportar la información hacia el dispositivo coordinador.



**Figura 3.19 ZigBee Enrutador AT**

### 3.2.6. Comunicación entre el dispositivo coordinador y el computador

La transmisión serial UART, crea la comunicación entre el dispositivo coordinador y la computadora, aquí llega la información de cada sensor como texto plano dentro de una trama pero de forma individual, en la figura 3.20 se muestran los componentes físicos que hacen posible la comunicación serial.



Figura 3.20 Componentes de la comunicación serial

La figura 3.21 muestra los parámetros que deben ser configurados en el programa XCTU para establecer la conexión.

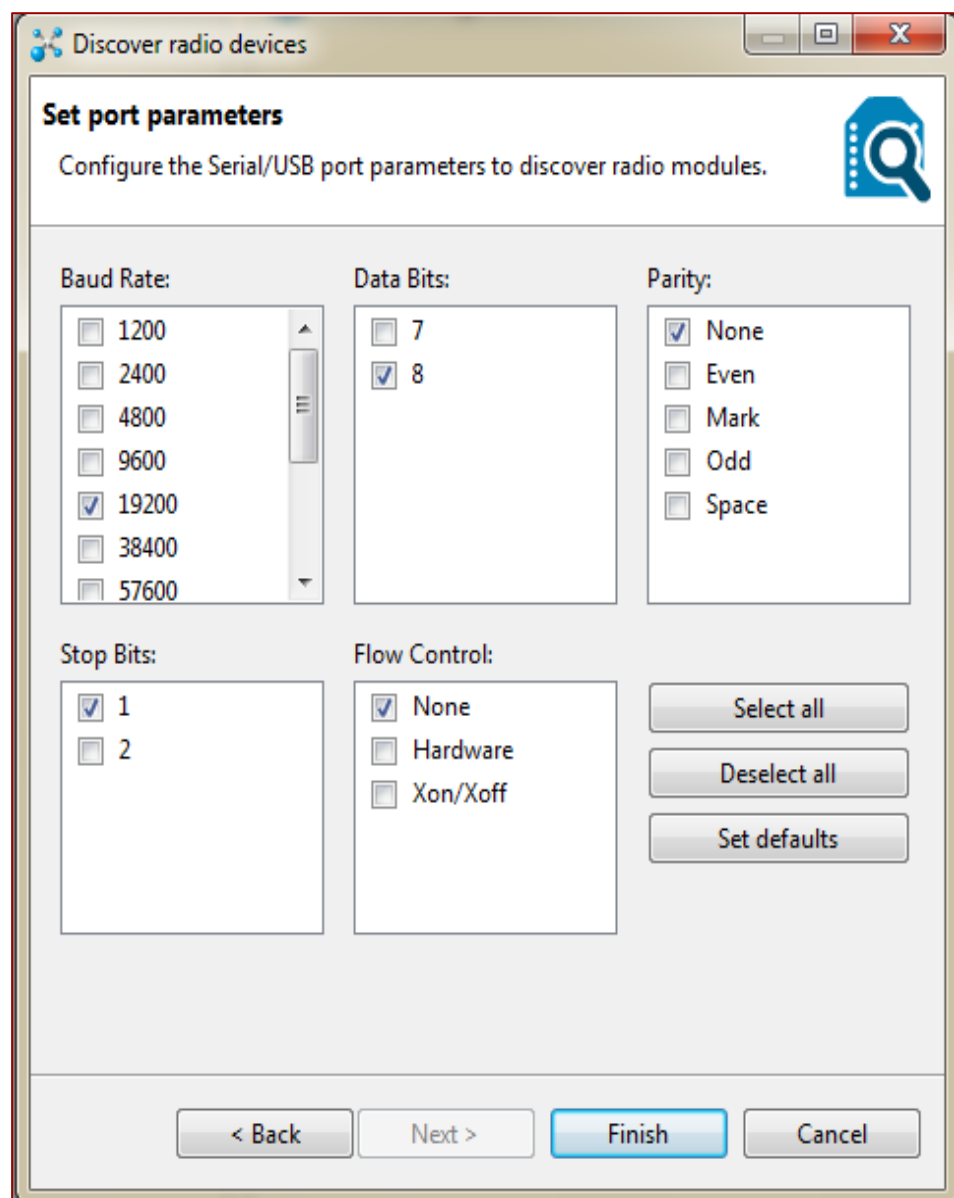
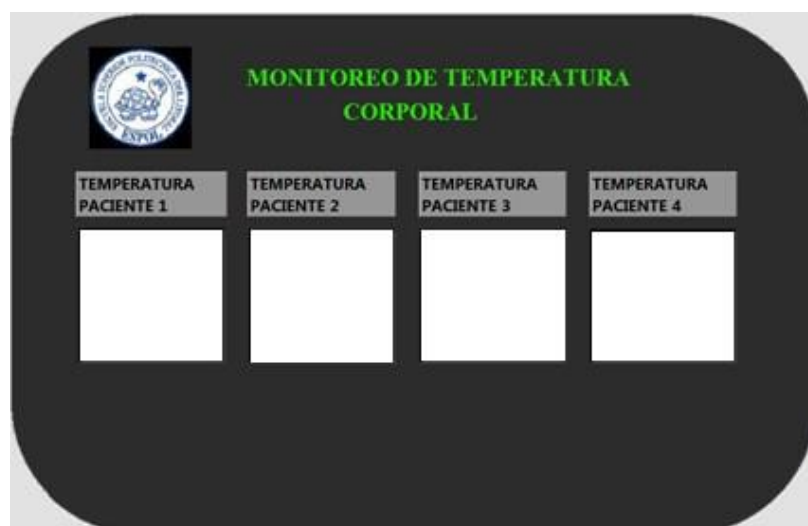


Figura 3.21 Parámetros del puerto serial/USB

### 3.3. Interfaz gráfica hacia el usuario

Basado en el software de desarrollo LabVIEW. Aquí se muestra la temperatura obtenida por cada nodo que forma parte de la red. La figura 3.22 muestra la interfaz hacia el usuario, en el ambiente de LabVIEW es conocido como panel frontal.



**Figura 3.22 Panel frontal de la interfaz gráfica**

La adquisición de datos desde el puerto serial vía USB se logra gracias a la herramienta NI-VISA, el cual posee los bloques que permiten abrir, leer, escribir y cerrar el puerto serial. Los datos que ingresan al puerto son leídos en bloques de 39 Bytes que es la longitud de la trama recibida, antes de continuar se verifica que los Bytes en el puerto sean mayor a cero.

Paso seguido se realiza un filtrado de la trama recibida para obtener solo los datos de interés (Byte número 34 con 5 Bytes de longitud).

Se usa una estructura 'Match Pattern' para realizar la comparación del carácter identificador de nodo, así el dato que ingresa es separado según el nodo del cual proviene sean estos A,B,C o D. A continuación la estructura 'StringSubset' filtrara solo el dato a ser mostrado en un indicador.

Un sub-VI realiza una comparación sobre la temperatura recibida, en caso que esta sea mayor a 38°C la temperatura será mostrada en color rojo, caso contrario será mostrado en color negro. La figura 3.23 muestra el sub-VI encargado de esto, mientras que la figura 3.24 muestra todo el proceso aplicado para poder mostrar el dato.

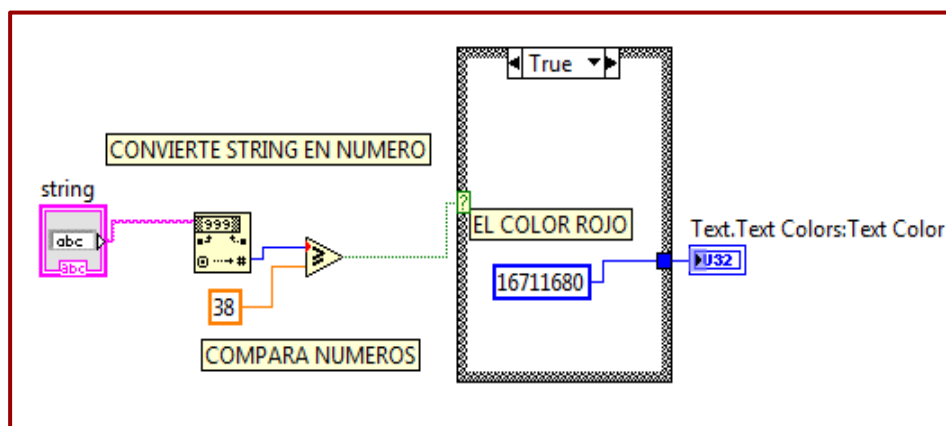


Figura 3.23 Sub-VI de alerta

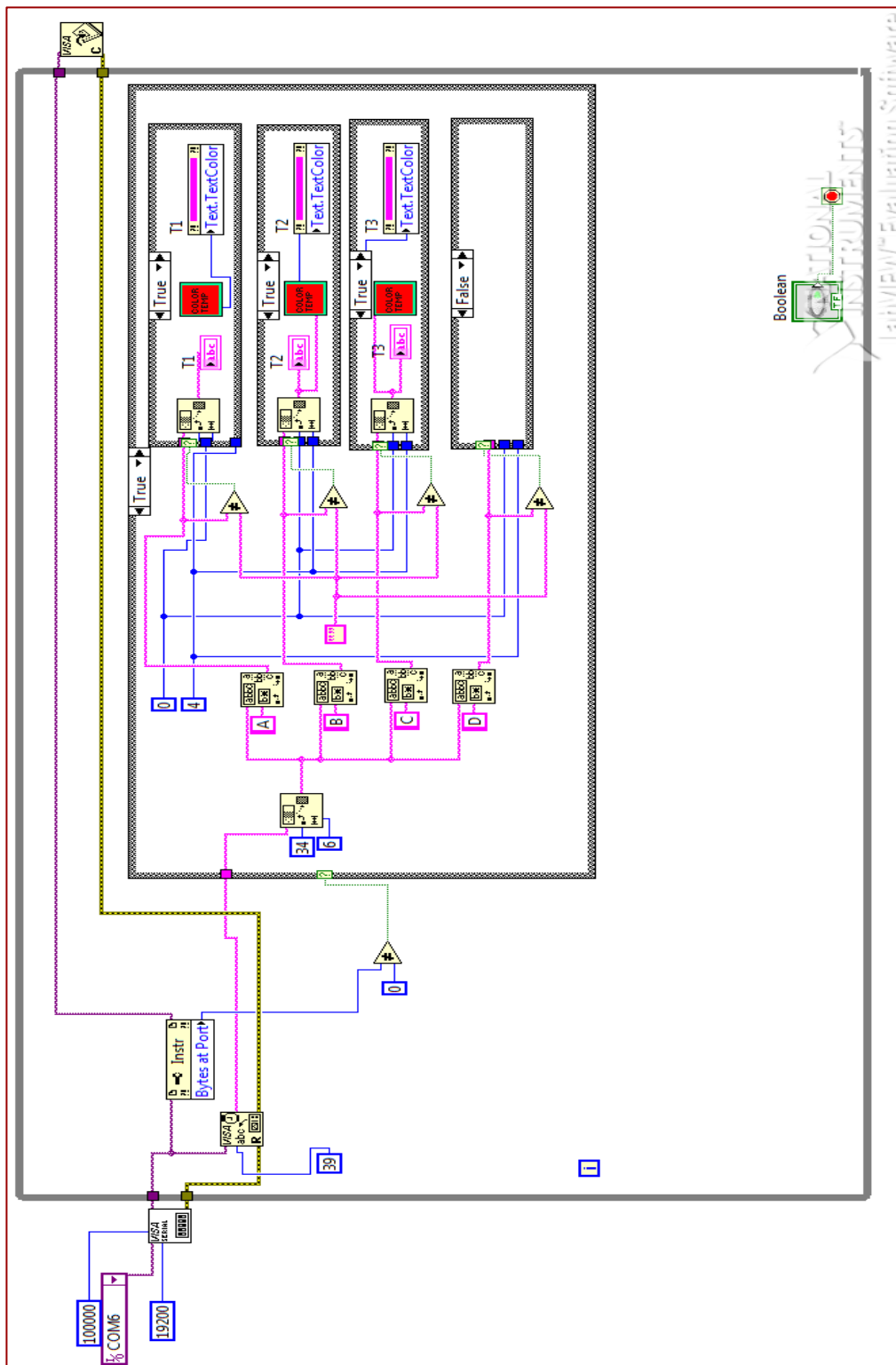
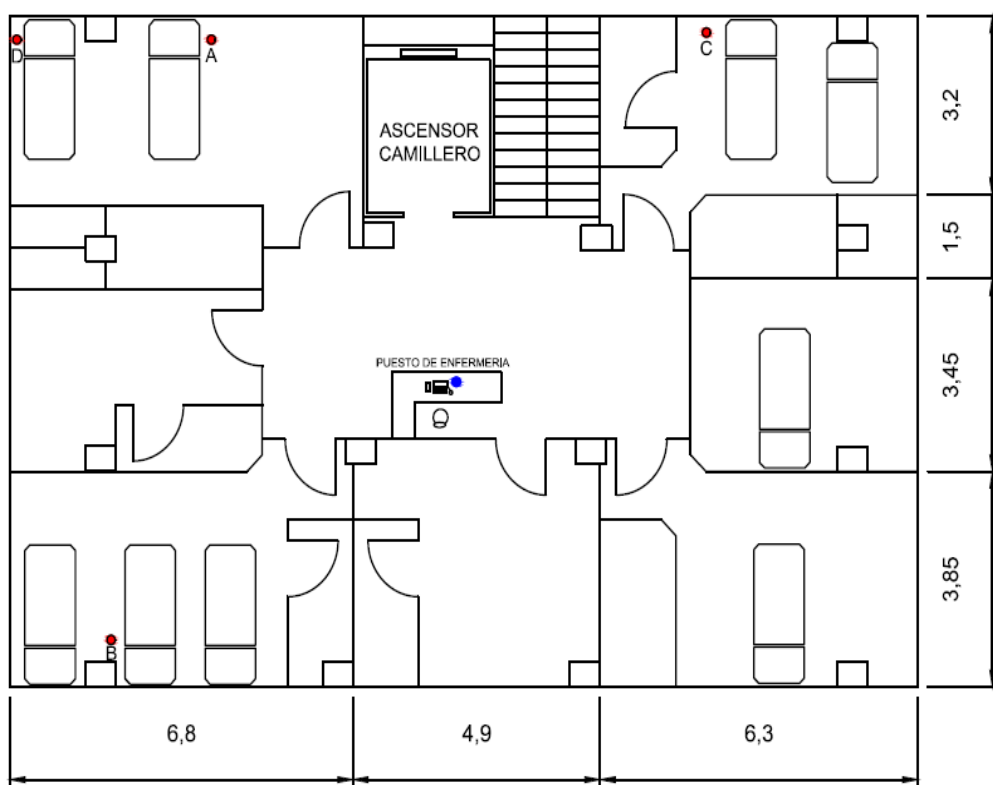


Figura 3.24 Diagrama de bloques de la interfaz gráfica

## **CAPÍTULO 4**

### **4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Este capítulo abarca todo lo correspondiente a la implementación y diseño de la solución, pero en su estado funcional y operativo. En donde se nota la real capacidad y eficacia del proyecto, ya utilizado en el entorno real, por lo expuesto anteriormente los datos mostrados de potencia, temperatura y topología de red se obtuvieron en el hospital 'Reina del Cisne' ubicada en la ciudad de 'Piñas' provincia de 'El Oro'. En la figura 4.1 se muestra el plano del 3er piso en donde se desplegaron las pruebas.



**Figura 4.1 3er piso del hospital Reina del Cisne**

#### **4.1. Pruebas de medición de temperatura corporal**

Para realizar la medición de temperatura corporal en el paciente, se consideran su bienestar y comodidad con el nodo sensor, que se encarga de procesar y enviar la información de su temperatura actual al dispositivo coordinador (estación de enfermería), la cual se actualizará a cada momento para su respectivo monitoreo.



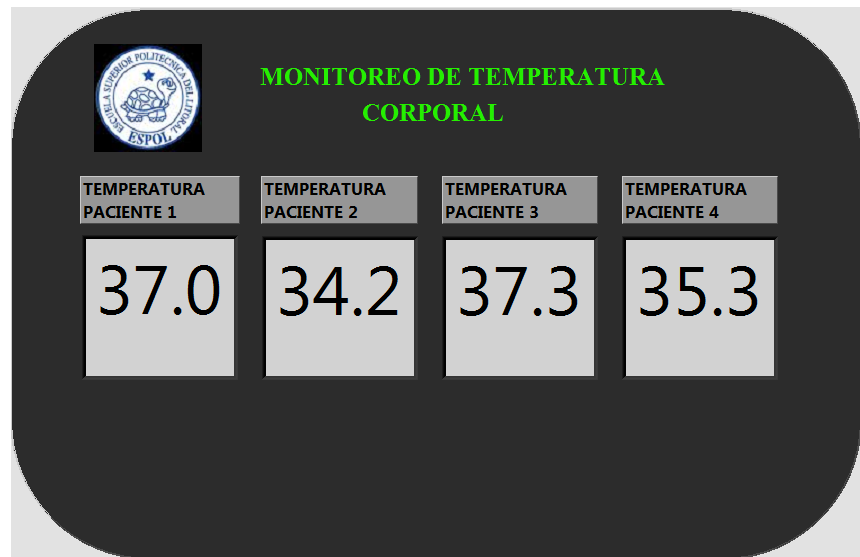
Considerando que el sensor de temperatura se colocó entre el brazo y el antebrazo del paciente; se calcula la diferencia en grados centígrados que existe entre esta y la temperatura axilar. La tabla 7 muestra lo dicho.

**Tabla 7 Diferencia entre temperatura**

<b>Nº de muestra</b>	<b>Temperatura axilar</b>	<b>Temperatura entre el brazo y antebrazo</b>	<b>Diferencia</b>
<b>1</b>	<b>36,4</b>	<b>34,9</b>	<b>1,5</b>
<b>2</b>	<b>36,1</b>	<b>34,6</b>	<b>1,5</b>
<b>3</b>	<b>36,5</b>	<b>34,7</b>	<b>1,8</b>
<b>4</b>	<b>36,2</b>	<b>34,8</b>	<b>1,4</b>
		<b>Promedio</b>	<b>1,55</b>

De la tabla 7 se observa que la diferencia existente de medir la temperatura de forma axilar y entre el brazo y antebrazo es de 1,55 °C, siendo la temperatura axilar la de mayor valor; esto resulta de medir temperatura a cuatro personas diferentes.

Como se sabe una persona tiene fiebre cuando la temperatura registrada en la axila supera los 38°C, lo que indica que hay fiebre entre el brazo y el antebrazo cuando se supera los 36,45°C.



**Figura 4.2 Monitoreo de temperatura**

En la fig. 4.2 se muestra la interfaz gráfica que permitirá al personal médico visualizar la temperatura de sus pacientes, en este caso se ve que los nodos sensores correspondientes al paciente 1 y al paciente 3 tienen temperaturas de 37.0°C y 37.3°C respectivamente, los cuales registran valores que indican fiebre. Los otros pacientes tienen temperaturas corporales en el rango normal ya establecido.

La interfaz se realizó en el software LabVIEW, que con su variedad de herramientas interactivas da acceso a cuatro pacientes, debido al número de nodos sensores existentes.

#### 4.2. Creación de red mallada y cambios de topología

Para la creación de la topología de red, se utiliza el software creado por la Digi llamado X-CTU en su versión actual.

Cabe indicar que la topología corresponde a una red mallada, la cual es generada y conformada por 5 módulos XBee S2, que se denominan nodos; configurados uno en modo de coordinador API y los restantes en modo enrutador AT.

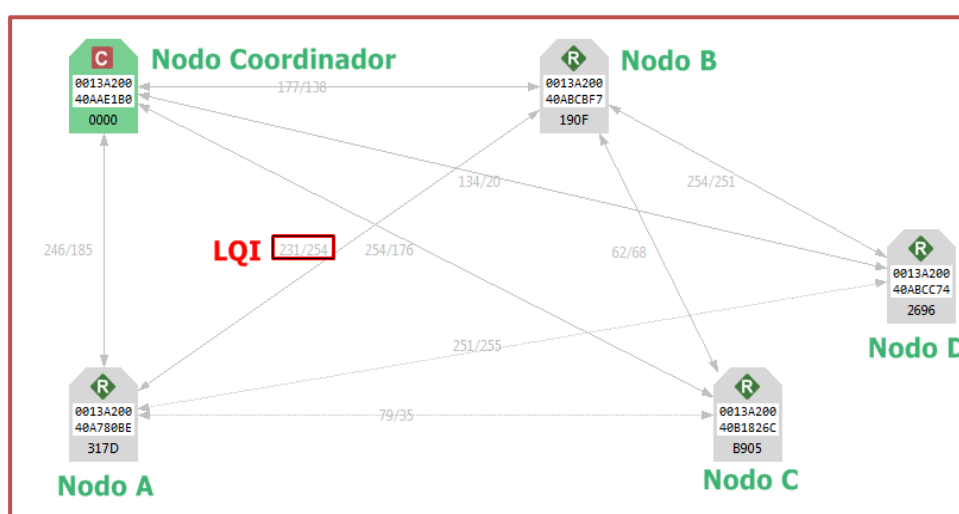
Los nodos se visualizan en el aplicativo ya indicado, en donde se podrá identificarlos por su respectiva MAC.

En la tabla 8 se asignan etiquetas a cada módulo XBee S2, para facilitar su búsqueda y ubicación.

**Tabla 8 Asignación de etiquetas**

ETIQUETA	MAC DEL XBEE S2
<b>NODO COORDINADOR</b>	<b>0013A20040AAE1B1</b>
<b>NODO A</b>	<b>0013A20040A780BE</b>
<b>NODO B</b>	<b>0013A20040ABCBF7</b>
<b>NODO C</b>	<b>0013A20040B1826C</b>
<b>NODO D</b>	<b>0013A20040ABCC74</b>

A continuación se observa las topologías de red creadas por los nodos en el entorno real (Hospital Reina del Cisne); además se irán desconectando uno a uno los nodos sensores de cada paciente, lo que provocara cambios en dicha topología.



**Figura 4.3 Topología de red completa**

En la figura 4.3 se observa la generación de la red mallada, con todos los nodos sensores conectados a cada paciente, en donde se nota que los dispositivos tienen un tipo de conexión en la topología a excepción del nodo A con el nodo D, debido a la ubicación de estos es la más lejana y por la pérdida que causa el ascensor en el sitio.

Así mismo se muestra el parámetro Indicador de calidad de la señal (LQI) que muestra la calidad en los enlaces de recepción y transmisión que hay entre módulos XBee (nodos); además el LQI suele usarse como mecanismo de ruteo en una red mallada, lo cual sirve para elegir rutas con LQI más alto. Los datos se muestran en la siguiente tabla matricial.

**Tabla 9 LQI de transmisión y recepción entre conexiones**

	<b>Nodo Coordinador</b>	<b>Nodo A</b>	<b>Nodo B</b>	<b>Nodo C</b>	<b>Nodo D</b>
<b>Nodo Coordinador</b>	-	246/185	177/138	254/176	134/20
<b>Nodo A</b>	246/185	-	231/254	79/35	251/255
<b>Nodo B</b>	177/138	231/254	-	62/68	254/251
<b>Nodo C</b>	254/176	79/35	62/68	-	No hay conexión
<b>Nodo D</b>	134/20	251/255	254/251	No hay conexión	-

Como se observa en la tabla 9 los enlaces que tienen el mejor LQI con referencia al nodo coordinador son el nodo A y el nodo C con valores de transmisión y recepción de 246/185 y 254/176 respectivamente, lo que indica que hay mejor garantía de que los paquetes lleguen a su destino; mientras tanto el enlace con el peor LQI respecto al nodo coordinador es el nodo D, con lo que se puede

deducir que el indicador de calidad del enlace decrece cuando la distancia aumenta entre nodos.

A su vez se puede observar que los enlaces entre nodos enrutadores con mejor LQI se da entre los nodos A, B y D; esto ocurre por la baja distancia entre ellos y la baja cantidad de obstáculos que los separan. Luego los enlaces con peor LQI son todos los relacionados con el nodo C, indicando además que no se logra establecer un enlace entre este y el nodo D.

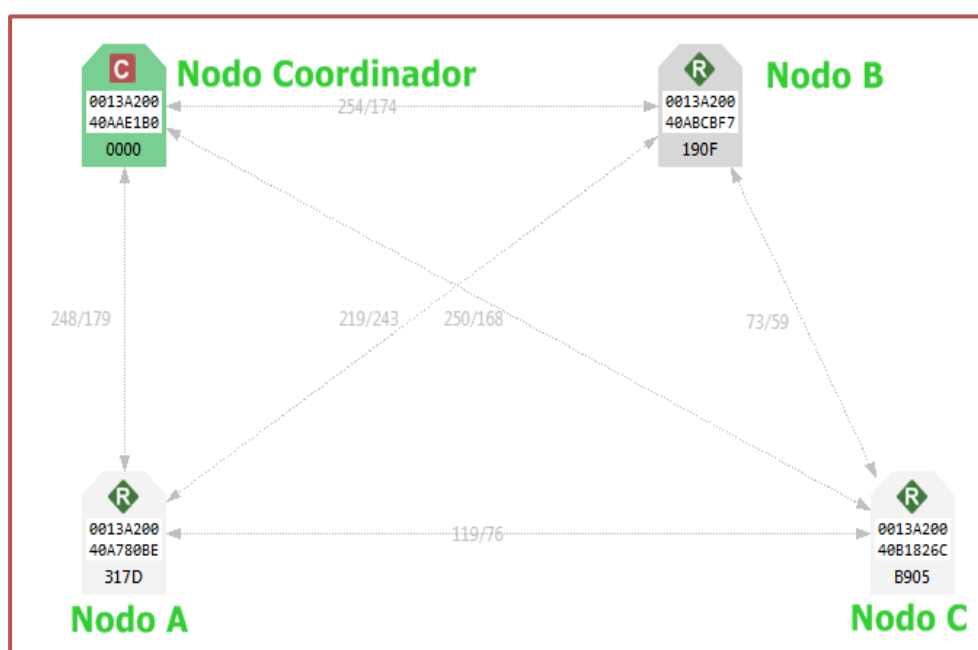


Figura 4.4 Cambio en la topología de red

En la figura 4.4 se muestra un cambio en la topología de red, ya que se desconectó el nodo D causando que la red mallada se simplifique, además se observa que existen enlaces entre todos los nodos.

También se puede notar que el peor LQI entre los nodos enrutadores siguen siendo los enlaces que se relacionan con el nodo C, aun después de desconectar el nodo D.

#### **4.3. Medición del indicador de fuerza de la señal recibida**

El software XCTU además de facilitar la topología de red, permite conocer la fuerza de la señal recibida (RSSI) y la cantidad de paquetes recibidos, accediendo a la opción "Range test". Debido a que la verificación del prototipo se realizó en el hospital ya descrita anteriormente, la prueba pertenece a un ambiente sin línea de vista.

Las figuras que se muestran a continuación corresponden a los datos obtenidos del RSSI y los paquetes recibidos con una ilustración gráfica de tiempo vs potencia en dBm, como la eficiencia de paquetes enviados en porcentaje. Se debe tomar en cuenta que esta prueba siempre interviene el nodo coordinador en cada caso.

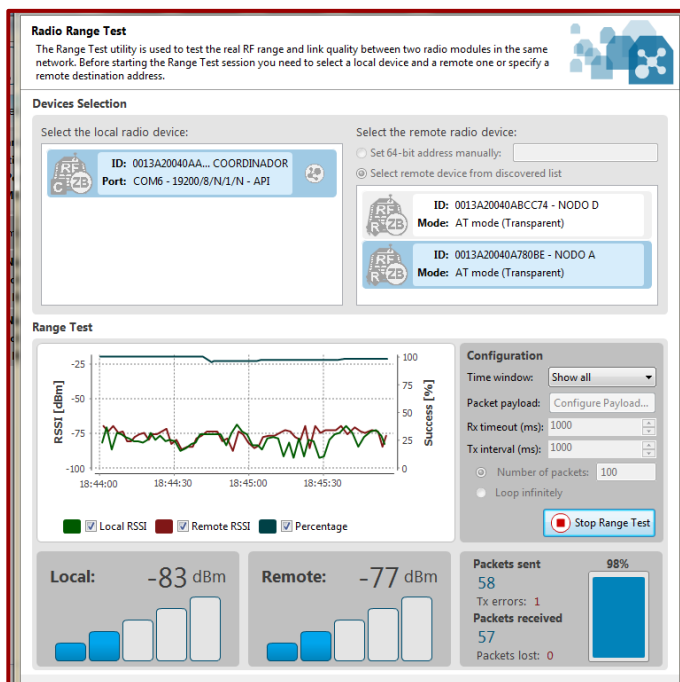


Figura 4.5 RSSI Nodo A

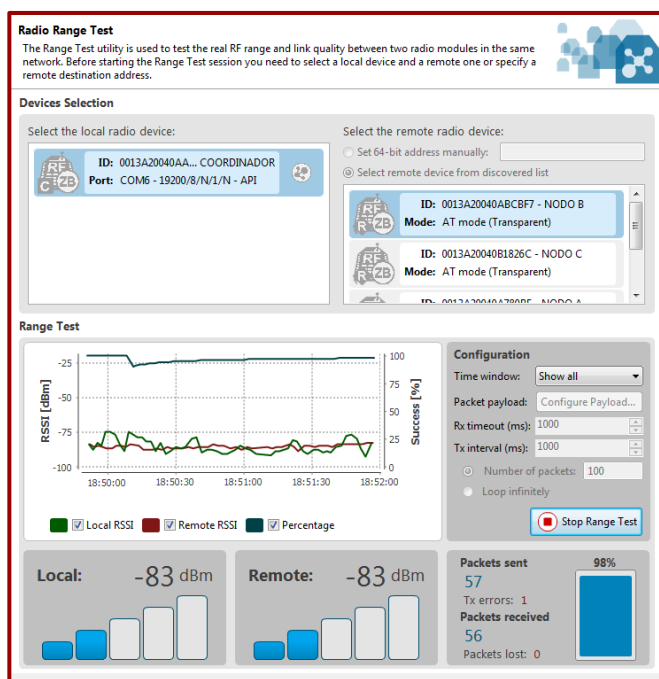


Figura 4-6 RSSI Nodo B



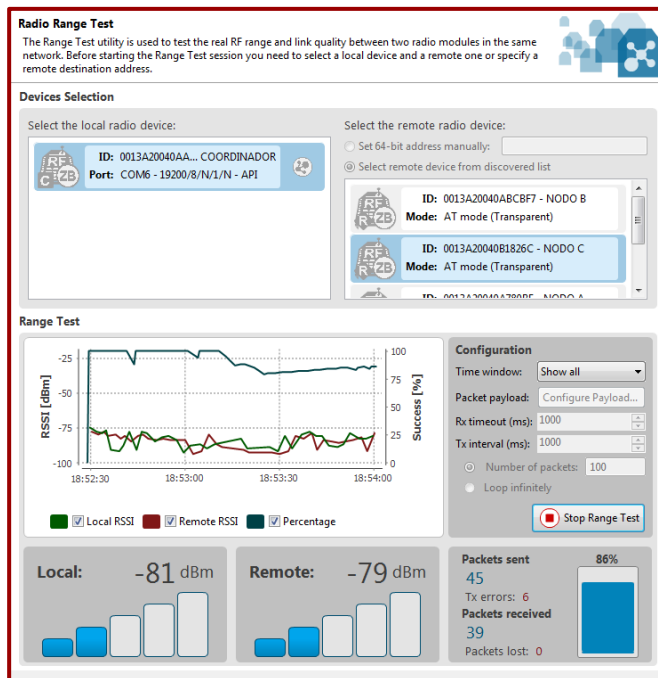


Figura 4.7 RSSI Nodo C

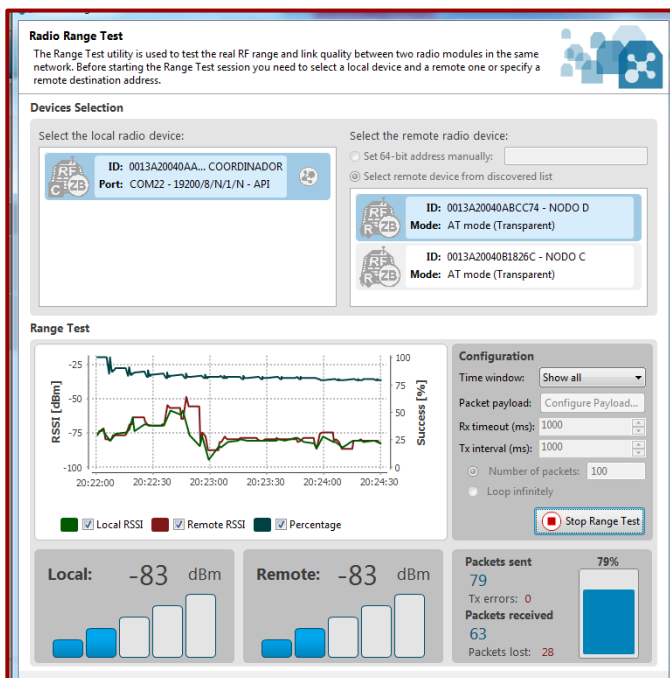


Figura 4.8 RSSI Nodo D

Ahora se debe adecuar los datos que vemos en las figuras anteriores pertenecientes a los nodos A, B, C y D referenciados al nodo coordinador, para su respectivo análisis.

**Tabla 10 Niveles de RSSI de todos los nodos**

	RSSI remota [dBm]	RSSI local (coordinador) [dBm]	Paquetes enviado	Paquetes recibidos	% De éxito en la transmisión
<b>NODO A</b>	-77	-83	58	57	98
<b>NODO B</b>	-83	-83	57	56	98
<b>NODO C</b>	-79	-81	45	39	86
<b>NODO D</b>	-83	-83	79	63	79

De la tabla 10, se verifica que el nodo A posee el mejor nivel de recepción esto se debe a su corta distancia respecto al nodo coordinador. El nodo B posee el nivel de recepción más bajo debido a la cantidad de obstáculos que posee. Además los nodos C y D son quienes registran los niveles más bajos de éxito en la transmisión de paquetes.

#### 4.4. Modelo de propagación y alcance entre nodos

##### Alcance entre nodos

Para calcular el alcance entre nodos, se lo realiza experimentalmente con línea de vista, donde se utiliza el nodo coordinador, que servirá como referencia fija y cualquiera de los nodos sensores el cual se desplaza hasta llegar a la cobertura máxima.

Cabe recalcar que esta prueba es independiente a la realizada en el hospital Reina del Cisne.

**Tabla 11 Niveles de RSSI vs distancia**

Distancia(m)	RSSI(dBm)
1	-35
15	-56
10	-62
15	-64
20	-69
25	-71
30	-70
40	-73
50	-74
60	-80
70	-82
80	-85
90	-89
100	-93
110	-96

De la tabla 11 se observa la variación en los niveles de la fuerza de la señal recibida, la cual disminuye al aumentar la distancia. A 110 metros se logra la sensibilidad mínima del dispositivo XBee; a esta distancia el enlace presenta intermitencia. En la figura 4.9 vemos la gráfica generada al realizar la prueba.

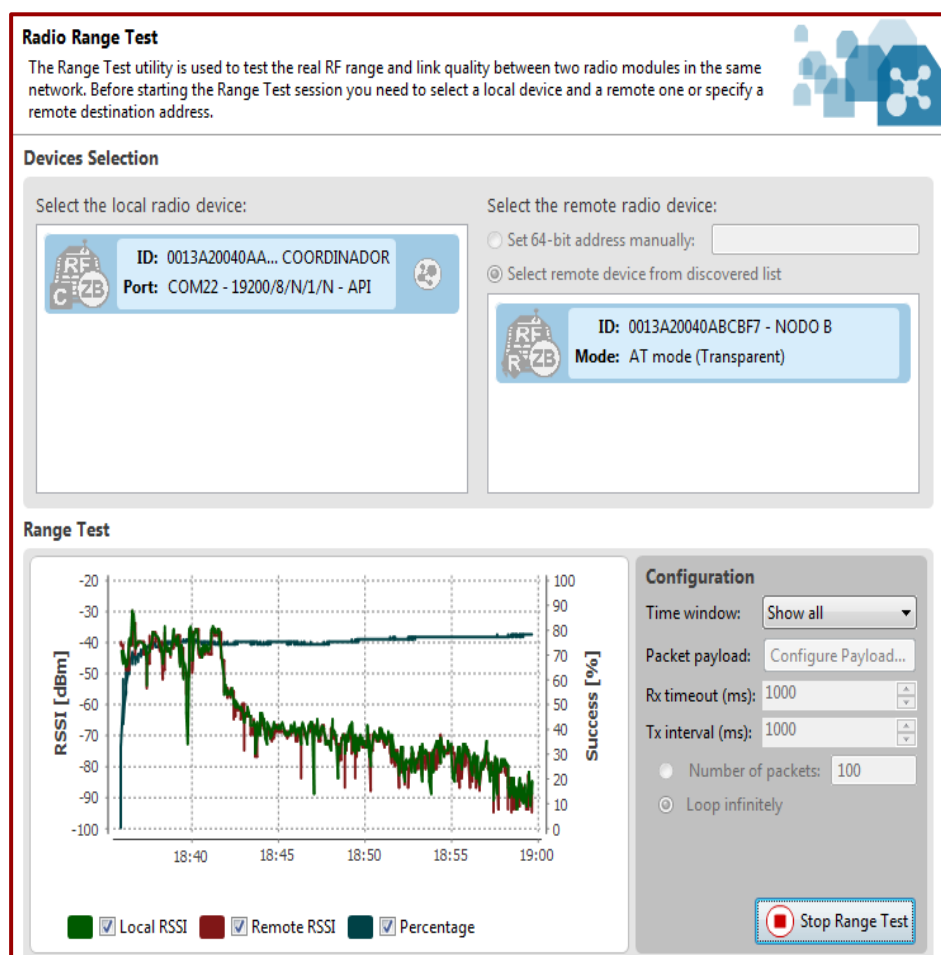
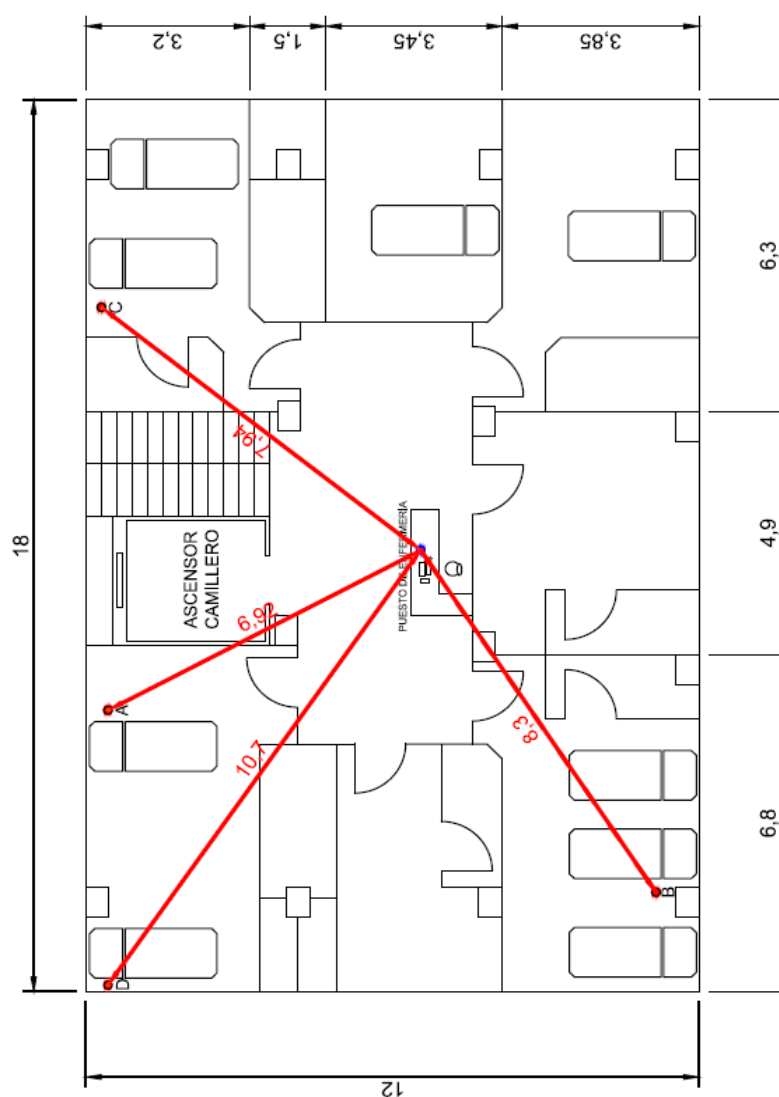


Figura 4.9 Gráfica RSSI vs Distancia

### Modelo de propagación

En la figura 4.10 se muestra la distribución de los nodos sensores en 3 de los 6 dormitorios, en base al plano se puede identificar la trayectoria de la onda electromagnética detallada en la imagen junto a la distancia que recorre.



**Figura 4.10 Proyección de los nodos sensores en el 3er piso del hospital**

Según el modelo dependiente de las particiones de un sitio, se realiza el cálculo de los niveles de potencia de la señal recibida en cada nodo sensor ubicados en los cuartos del hospital.

Los valores de atenuaciones según el obstáculo atravesado ( $W_{\text{tipo}}$ ) se basan de la tabla 3 y la tabla 2. En la tabla 12 vemos las pérdidas según los obstáculos que hay en el hospital.

**Tabla 12 Atenuación según obstáculos en el hospital.**

Obstáculos en la Hospital	Rango de atenuación (dB)
Pilar de cemento	16
Pared de un ascensor junto a la pared de ladrillos	12,5
Pared de ladrillo	10
Puerta de madera	4

El valor de la potencia de transmisión ( $P_{\text{tx}}$ ) según la hoja del fabricante es de 3 dBm.

La pérdida a un metro ( $L_0$ ) es un valor que se requiere para poder calcular la pérdida total de cada conexión inalámbrica, y está dada por la siguiente ecuación:

$$L_o = -10 \log G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \quad (4.1)$$

Dónde:

$G_t$  y  $G_r$  son las ganancias de las antenas transmisoras y receptoras respectivamente.

$\lambda$  Es la longitud de onda de la portadora dada por la ecuación:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4.2)$$

Para el cálculo de la longitud de onda se necesita el valor de la velocidad de la luz ( $c$ ), cuyo valor es  $3 \times 10^8$  m/s. Mientras tanto la frecuencia es de 2,4 GHz, que corresponde a la banda libre en que trabaja el estándar ZigBee; a continuación se halla el valor de la longitud de onda.

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2,4 \times 10^9 \text{ 1/s}}$$

$$\lambda = 0,125 \text{ m}$$

Al encontrar la longitud de onda, solo falta conocer las ganancias de transmisión y recepción del módulo XBee, que se estiman con el valor de 1 o 0 dBi. Con estos datos se procede a calcular la pérdida a un metro.

$$L_o = -10 \log(1)(1) \left( \frac{0,125}{4\pi} \right)^2$$

$$L_o = 40,05 \text{ dB}$$

A continuación se realiza los cálculos pertinentes para encontrar los valores de potencia recibido para cada uno de los nodos.

Para el nodo A

$$L_{pA} = L_o + 20 \log d + \sum_{\text{tipo}} m_{\text{tipo}} W_{\text{tipo}} \quad (4.3)$$

Entre el nodo coordinador y el nodo A la distancia es de 6.92mts, respecto a los obstáculos hay un pilar de cemento, la pared de un ascensor junto a la pared de ladrillos.

$$L_{pA} = L_o + 20 \log 6,92 + 1(16) + 1(12,5)$$



$$LpA = 40,05 + 16,80 + 16 + 12,5$$

$$LpA = 85,8 \text{ dB}$$

Luego la potencia de la señal recibida en el nodo 'A' es:

$$PrxA = PtxA - LpA \text{ (4.4)}$$

$$PrxA = 3\text{dBm} - 85,8\text{dB}$$

$$PrxA = -82,8 \text{ dBm}$$

Para el nodo B

$$LpB = Lo + 20 \log d + \sum_{\text{tipo}} m_{\text{tipo}} W_{\text{tipo}} \text{ (4.5)}$$

Entre el nodo coordinador y el nodo B la distancia es de 8.3mts, respecto a los obstáculos hay dos paredes de ladrillo y un pilar de cemento.

$$LpB = Lo + 20 \log 8.3 + 1(10) + 1(16)$$

$$LpB = 40,05 + 18,38 + 10 + 16$$

$$LpB = 84,88 \text{ dB}$$

Luego la potencial de la señal recibida en el nodo 'B' es:

$$PrxB = PtxB - LpB \quad (4.6)$$

$$PrxB = 3dBm - 84,88db$$

$$PrxB = -81,88 \text{ dBm}$$

Para el nodo C

$$LpC = Lo + 20 \log d + \sum_{\text{tipo}} m_{\text{tipo}} W_{\text{tipo}} \quad (4.7)$$

Entre el nodo coordinador y el nodo C la distancia es de 7.94mts, respecto a los obstáculos hay 2 paredes de ladrillos y una puerta de madera.

$$LpC = Lo + 20 \log 7.94 + 2(10) + 1(4)$$

$$LpC = 40.05 + 18 + 20 + 4$$

$$LpC = 82,05 \text{ dB}$$

Luego la potencia de la señal recibida en el nodo 'C' es:

$$PrxC = PtxC - LpC \quad (4.8)$$

$$PrxC = 3dBm - 82,05dB$$

$$PrxC = -79,05 \text{ dBm}$$

Para el nodo D

$$LpD = L_0 + 20 \log d + \sum_{\text{tipo}} m_{\text{tipo}} W_{\text{tipo}} \quad (4.9)$$

Entre el nodo coordinador y el nodo D la distancia es de 10.7mts, respecto a los obstáculos hay 3 paredes de ladrillos.

$$LpD = L_0 + 20 \log 10.7 + 3(10)$$

$$LpD = 40,05 + 20,58 + 30$$

$$LpD = 90,63 \text{ dB}$$

Luego la potencia de la señal recibida en el nodo 'D' es:

$$PrxD = PtxD - LpD \quad (4.10)$$

$$PrxD = 3dBm - 90,63dB$$

$$PrxD = -87,63 \text{ dBm}$$

A continuación, se hace una comparativa entre los valores de potencia de la señal recibida, obtenidos teóricamente, con los valores obtenidos experimentalmente y que están descritos en el subcapítulo 4.3 y mostrado en la tabla 13.

**Tabla 13 Porcentaje de error en RSSI**

	RSSI teórico	RSSI experimental	% error
<b>NODO A</b>	-82,8	-77	6,89
<b>NODO B</b>	-81,88	-83	1,36
<b>NODO C</b>	-79,05	-79	0,06
<b>NODO D</b>	-87,63	-83	5,28

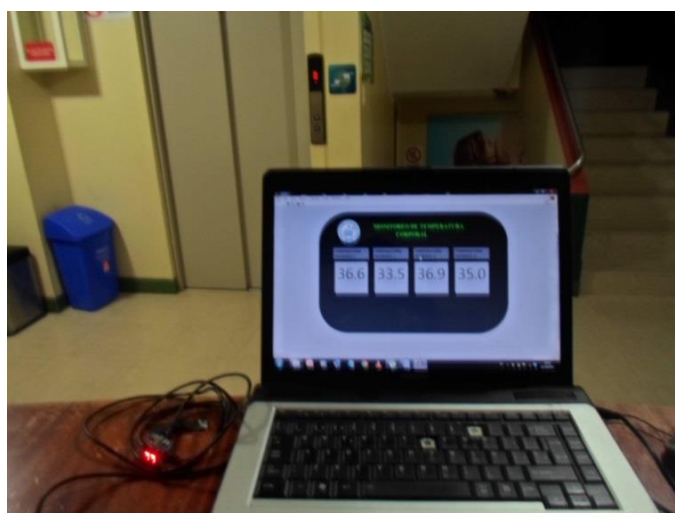
#### **4.5. Verificación del sistema en entorno real**

En esta sección se ilustra paso a paso el acoplamiento de los nodos sensores y del nodo coordinador en el ambiente del hospital, para la respectiva obtención de los datos, que se muestran y analizan en las secciones anteriores correspondientes a este capítulo.

En la figura 4.11 y 4.12 se muestran la estación de enfermería y la colocación de la computadora portátil con el nodo coordinador en dicho puesto.

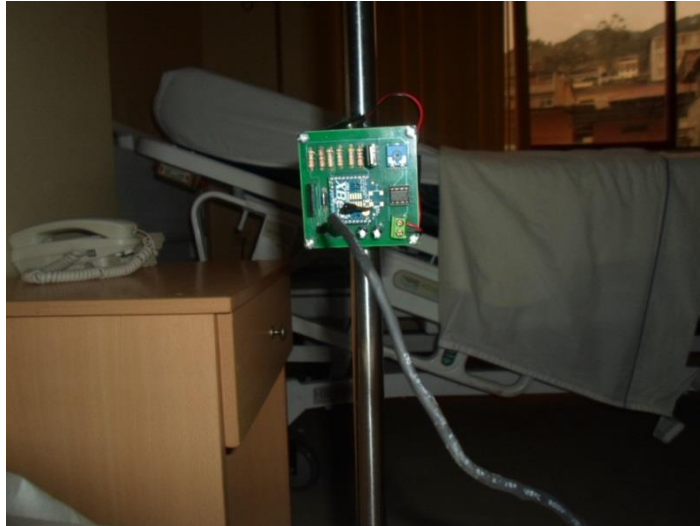


**Figura 4.11 Estación de enfermería**



**Figura 4.12 Colocación de PC en estación de enfermería**

De la figura 4.13 se observa cómo se adapta el nodo sensor a las habitaciones.



**Figura 4.13 Adaptación del nodo sensor**

En las figuras 4.14 y 4.15 se observa la ubicación del sensor LM-35 entre el brazo y antebrazo de los pacientes.



**Figura 4.14 Colocación del sensor al paciente (1)**



**Figura 4.15 Colocación del sensor al paciente (2)**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES:**

1. Se logró desarrollar un prototipo que permite monitorear en tiempo real los valores de temperatura corporal de cuatro nodos, además de crear entre ellos una topología mallada.
2. Para poder observar los valores obtenidos por los sensores de temperatura se creó una interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW, esto se realizó con el uso de comunicación serial otorgada por la herramienta NI-VISA para transmitir los datos desde el nodo coordinador hacia la computadora.



3. La creación de una topología mallada se logró gracias a la característica de los módulos XBee los cuales al trabajar en modo API permiten establecer esta red.
4. El modelo de propagación dependiente de las particiones de un sitio es el acertado, debido a las características del sitio donde se probó el proyecto. Esto se corroboró con los datos obtenidos del programa XCTU.
5. El proceso de conversión analógica digital se llevó a cabo por el microprocesador 12LF1822 quien brinda una resolución de 10 bits, esto realizado por una función dentro del programa 'MicroC.'
6. Basado en las herramientas Proteus y MicrocProforPic se creó un circuito electrónico que permite medir y procesar la temperatura corporal en tiempo real.
7. Se logró establecer una red mallada que proporciona amplia cobertura y tolerancia a fallas entre los enlaces.

8. Gracias al software LabVIEW se realizó una interfaz gráfica donde se muestra la información de temperatura corporal correspondiente a cada paciente, además de mostrar una alarma en el caso que una temperatura sensada supere los valores recomendados.

### **RECOMENDACIONES:**

1. Se puede mejorar la sujeción del sensor de temperatura con la superficie del paciente para obtener una medición más fiable.
2. Se sugiere revisar la carga de la batería, ya que variaciones en el voltaje de entrada provoca errores de medición, una opción válida es usar una fuente de energía constante.
3. Tener presente que se debe configurar los mismos parámetros de comunicación serial en la herramienta de LabVIEW NI-VISA y la comunicación serial entre el dispositivo coordinador y el computador.
4. Verificar que todos los módulos XBee S2 se encuentren en la misma red, es decir que compartan la misma canalización y el mismo PAN-ID (Personal Area Network).

5. Al usar la función `UART_Write` del software `MicroCPro` para la programación del PIC, verifique que se envíe la trama API correcta, caso contrario el paquete será descartado por todos los nodos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sensores de Temperatura, <http://es.slideshare.net/josueacerov/diapositivas-de-sensor-de-temperatura-jeison-torres-diego-diaz-jhonatan-mio> , fecha de consulta: Septiembre 2014.
- [2] Sensores de Temperatura, <http://www.ni.com/white-paper/10635/es/> , fecha de consulta: Septiembre 2014.
- [3] ZigBee y sus aplicaciones, <http://www.dea.icaei.upco.es/sadot/Comunicaciones/avanzadas/ZIGBEE%20y%20sus%20aplicaciones.pdf>, fecha de consulta: Septiembre 2014.
- [4] Capítulo 3: Estándar IEEE 802.15.4 'Redes ZigBee', <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/229/6/A6.pdf> , fecha de consulta: Octubre 2014.
- [5] Detección de Portadora de acceso múltiple con prevención de colisión, [https://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Carrier\\_sense\\_multiple\\_access\\_with\\_collision\\_avoidance.html](https://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Carrier_sense_multiple_access_with_collision_avoidance.html) , fecha de consulta: Noviembre 2014.
- [6] CSMA/CA, [https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/arss/arss11\\_12/slides/34-CSMA-CA.pdf](https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/arss/arss11_12/slides/34-CSMA-CA.pdf) , fecha de consulta: Noviembre 2014

- [7] Estudio de viabilidad de la utilización de redes inalámbricas Ad-Hoc en edificios departamentales, [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13183/TesinaMaster\\_FcoJavierHidalgo.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13183/TesinaMaster_FcoJavierHidalgo.pdf?sequence=1) , fecha de consulta: Octubre 2014
- [8] Tutorial de LabVIEW, [http://webs.uvigo.es/euiti\\_ie1/ie2/Tutorial%20de%20LabVIEW.pdf](http://webs.uvigo.es/euiti_ie1/ie2/Tutorial%20de%20LabVIEW.pdf) , fecha de consulta: Noviembre 2014.
- [9] LabVIEW ¿Qué es? ¿Para qué sirve? , <http://picaxe.electronicasimple.com/2008/11/LabVIEW-qu-es-para-que-sirve.html> , fecha de consulta: Octubre 2014.
- [10] XCTU, <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/ZIGBEE-rf-modules/xctu> , fecha de consulta: Noviembre 2014.
- [11] Diapositivas 'Características del medio Inalámbrico' autor: Ph.D. Boris Ramos
- [12] Análisis experimental para un modelo de propagación de la telefonía móvil de la universidad militar, [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-81702009000200004&script=sci\\_arttext#fig1](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-81702009000200004&script=sci_arttext#fig1) , fecha de consulta: Noviembre 2014.

- [13] Temperatura corporal, <http://www.dalcame.com/tc.html#.VIOy0X9gh8J>, fecha de consulta: Octubre 2014.
- [14] Temperatura del cuerpo humano, <http://temperaturadeuncuerpohumano.blogspot.com>, fecha de consulta: Octubre 2014.
- [15] Como tomar la temperatura, [http://www.allinahealth.org/mdex\\_sp/SD7882G.HTM](http://www.allinahealth.org/mdex_sp/SD7882G.HTM), fecha de consulta: Octubre 2014.
- [16] Digi, XBee Multipoint RF Modules, [http://www.digi.com/pdf/ds\\_xbeemultipointmodules.pdf](http://www.digi.com/pdf/ds_xbeemultipointmodules.pdf), fecha de consulta: Octubre 2014.
- [17] Digi, What is API (Application Programming Interface) Mode and how does it work?, <http://www.digi.com/support/kbase/kbaseresultdet?id=2184>, fecha de consulta: Septiembre 2014.
- [18] Digi, Generador de tramas API, [ftp://ftp1.digi.com/support/utilities/digi\\_apiframes.htm](ftp://ftp1.digi.com/support/utilities/digi_apiframes.htm), fecha de consulta: Septiembre 2014.
- [19] Ideas y Tecnología, XBEE-USB I&T, <http://www.ideastechnology.com/?q=node/119>, fecha de consulta: Septiembre 2014.

**[20]** LM35, Precision Centigrade Temperature Sensors,  
<http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/lm35.pdf>, fecha de consulta:  
Septiembre 2014.

**[21]** MICROCHIP, PIC12LF1822,  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001413D.pdf>,  
fecha de consulta: Septiembre 2014.

## ANEXOS

### ANEXO A

#### DATOS EXTRA SOBRE EL XBEE S2

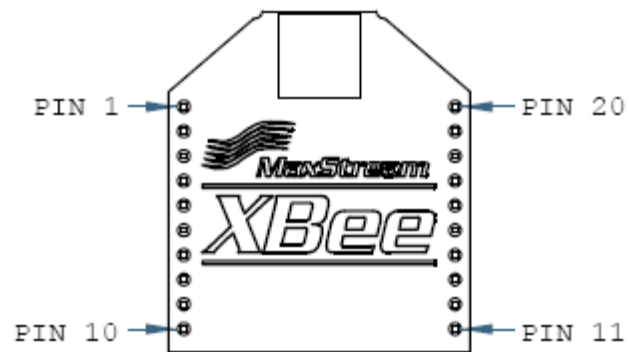
En la tabla a continuación se presenta una breve descripción de los pines del módulo XBee S2.

**Tabla 1: Descripción de pines**

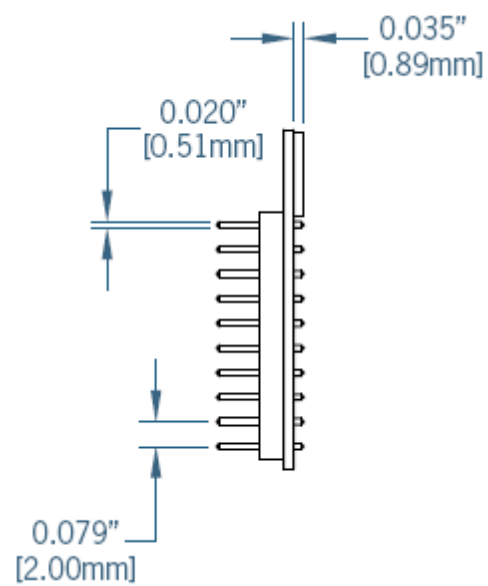
Pin #	Nombre	Dirección	Descripción
1	Vcc	-	Alimentación
2	DOUT	Salida	Salida UART
3	DIN/CONFIG	Entrada	Entrada UART
4	DIO8	E/S	Digital E/S 8
5	RESET	Entrada	Módulo de reinicio
6	PWMO/RSSI/DIO10	Salida	PWM Salida 0, Indicador de señal recibida Digital E/S
7	PWM/DIO11	E/S	Digital E/S 11
8	[Reservado]	-	No conectar
9	DTR/SLEEP_RQ/DI8	Salida	Pin Sleep, Control en línea Digital E/S 8
10	GND	-	Tierra
11	DIO4	E/S	Digital E/S 4
12	CTS/DIO7	E/S	Control de flujo Clear-to-Send
13	ON/SLEEP	Salida	Indicador de estado del modulo
14	[Reservado]	-	No conectar
15	Asociado/DIO5	E/S	Indicador Asociado, Digital E/S 5
16	RTS/DIO6	E/S	Control de flujo Request-to-Send
17	AD3/DIO3	E/S	Entrada analógica 3 o Digital E/S 3
18	AD2/DIO2	E/S	Entrada analógica 2 o Digital E/S 2
19	AD1/DIO1	E/S	Entrada analógica 1 o Digital E/S 1
20	AD0/DIO0	E/S	Entrada analógica 0 o Digital E/S 0



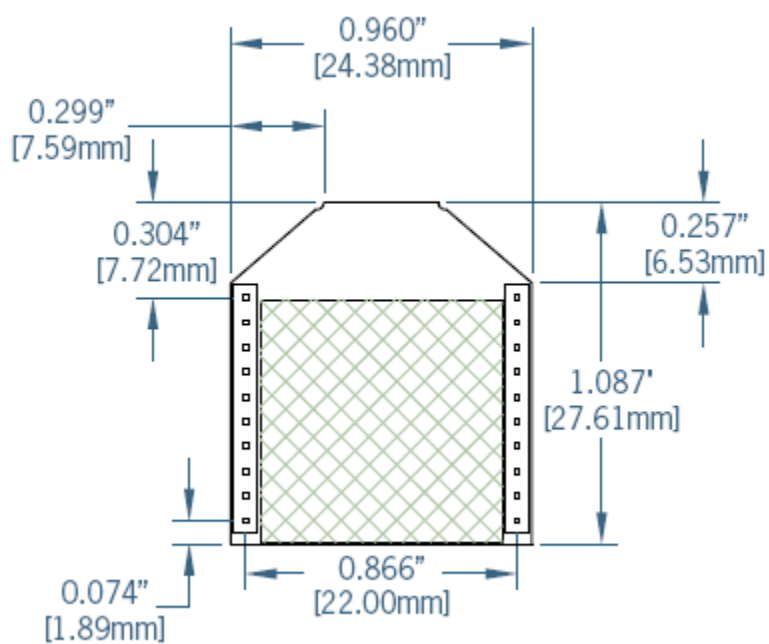
Las gráficas reflejan las dimensiones de los módulos XBee S2:



**Figura 1: Vista Superior**



**Figura 2: Distancia entre pines**



**Figura 3: Medidas del Xbee S2**

ANEXO B

DISEÑO CIRCUITO ELECTRICO

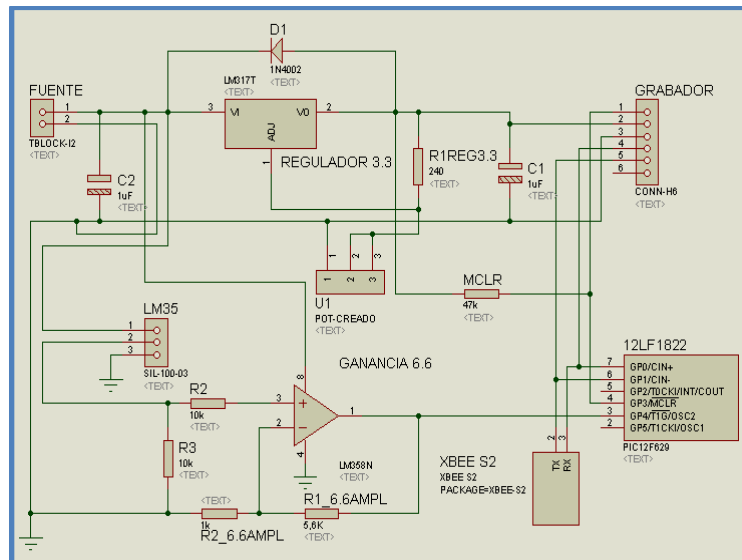


Figura 4: Circuito eléctrico del nodo sensor en Isis

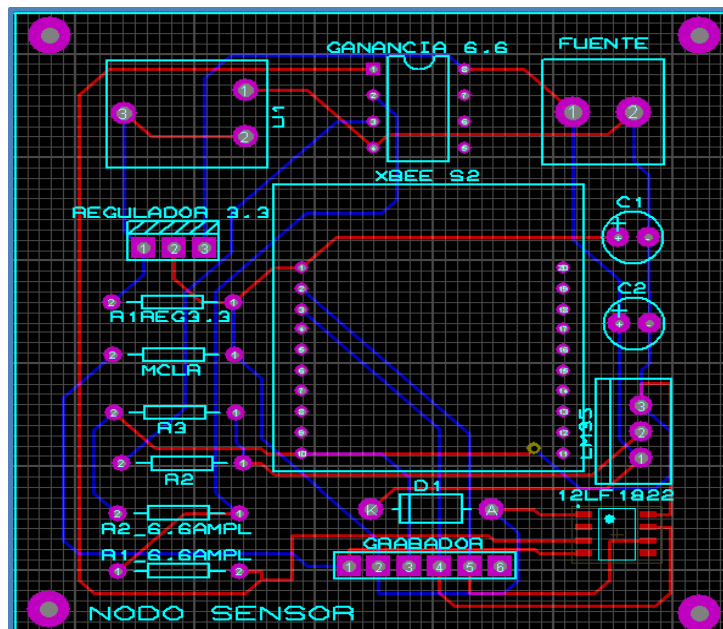


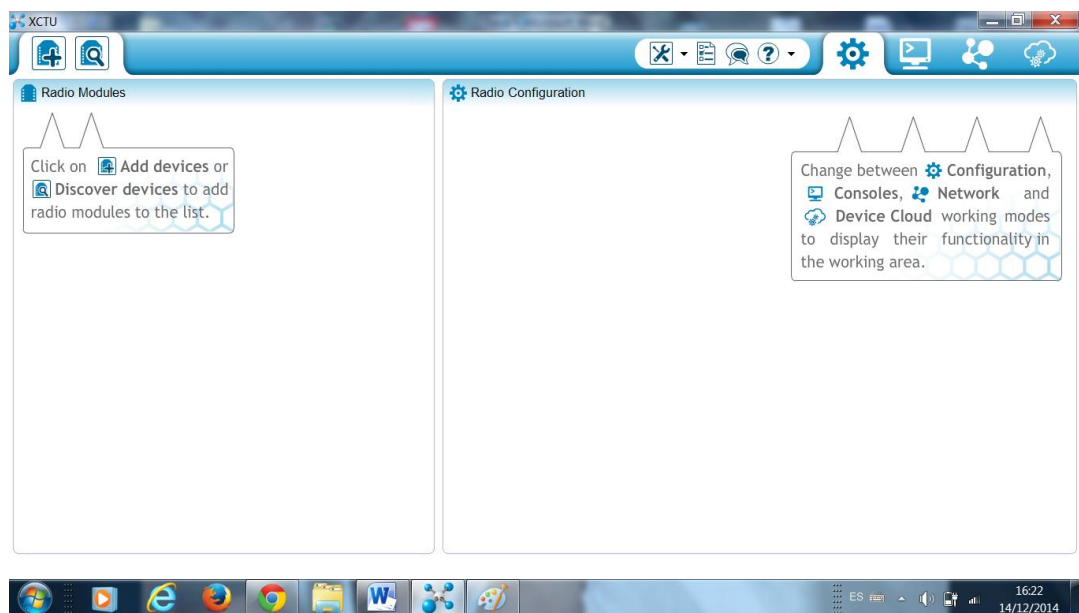
Figura 5: Circuito eléctrico del nodo sensor en Ares

## ANEXO C


### MANUAL DEL X-CTU

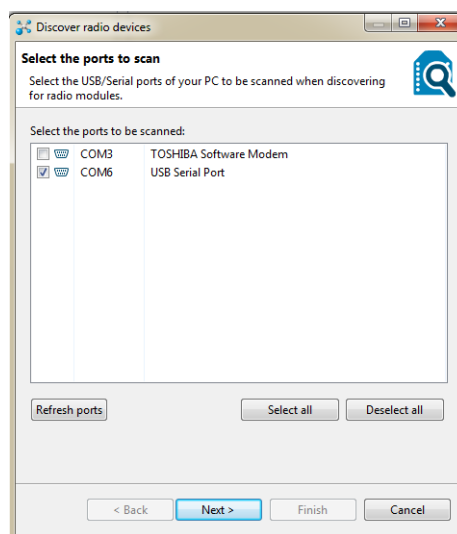
Para la configuración de los dispositivos XBee-S2. Primero se debe colocar el módulo XBee sobre el XBee Explorer, que permite la comunicación serial hacia el puerto USB de la computadora.

Después se puede ejecutar el programa a través de un acceso directo ubicado en el escritorio, llamado X-CTU y aparecerá una pantalla como la siguiente.

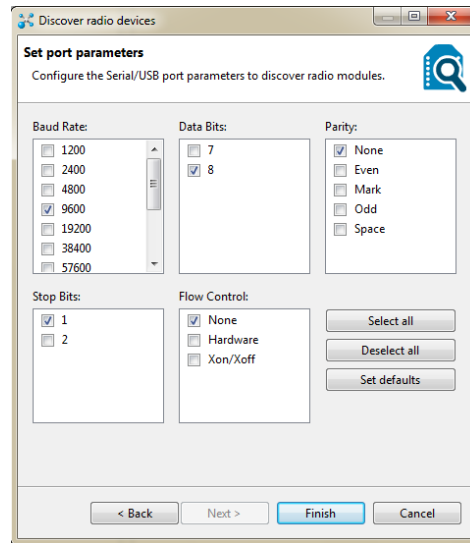


## Búsqueda del módulo XBee

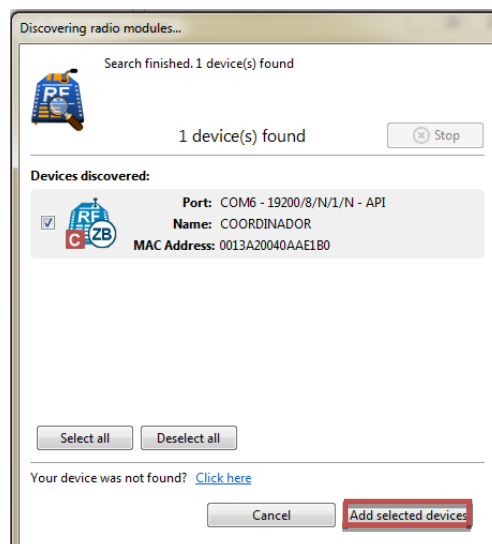
Luego se elige el icono  para descubrir o buscar el módulo de transmisión y recepción conectado a la computadora, aparecerá la siguiente ventana:



Se elige el puerto serial USB en la cual está configurado la computadora y conectado el modulo; pulsamos "Next" y saldrá algo parecido a la siguiente imagen:




A continuación se deben configurar los parámetros del puerto serial USB los cuales deben ser iguales a los que se van a configurar más adelante en el módulo XBee-S2, presionamos “Finish” y empieza la búsqueda del módulo en esta ventana.

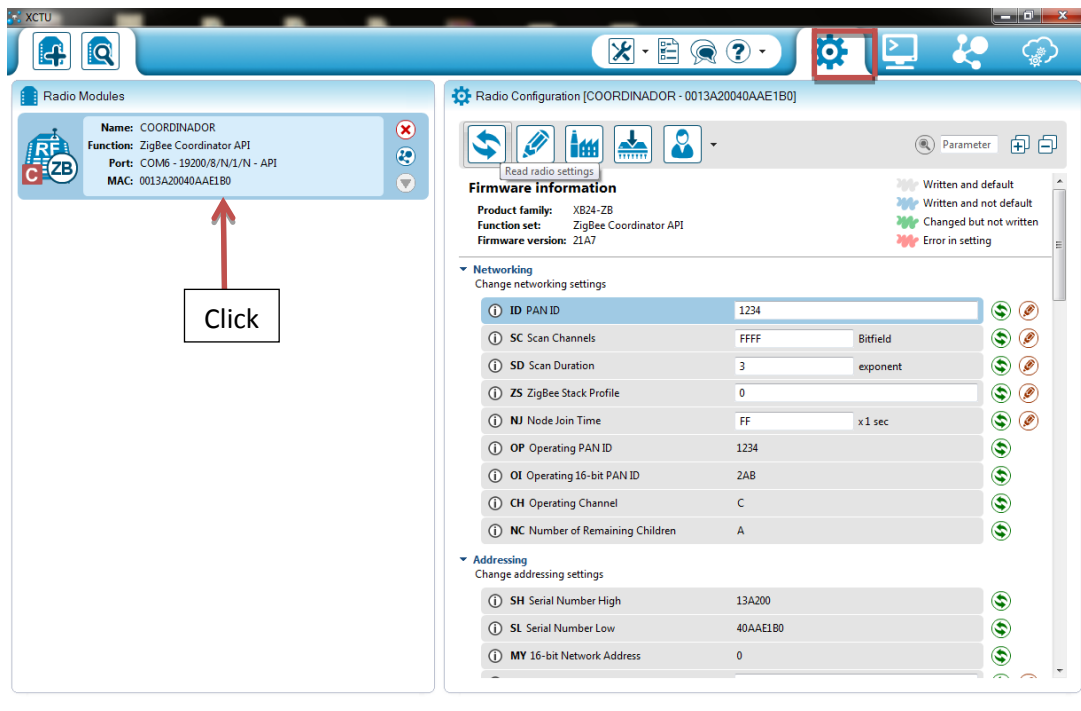


Después de encontrar el módulo se visualiza sus datos principales como el puerto de conexión, La MAC address y se selecciona el módulo, se presiona “Add selected devices” y aparecerá lo siguiente:



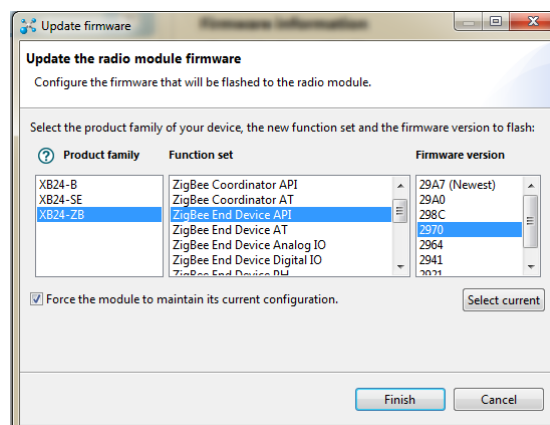
### Configuración del módulo XBee.

Al presionar  seguido de dar un click en el módulo encontrado se abrirá una ventana a la derecha la cual permite configurar el módulo XBee según el uso de este.




Las configuraciones son de creaciones de redes, direccionamiento, consumo de energía, interface serial entre otros.

Inmediatamente se presiona el icono  y se desplegará la siguiente ventana:





En el grafico anterior se debe elegir la familia a la que pertenece el modulo, luego se escoge la función que este realizara seguido de la versión del fimware y pulsar “Finish”.

Para finalizar la configuración se presiona el icono , el cual graba la información en su totalidad.

Además tenemos:



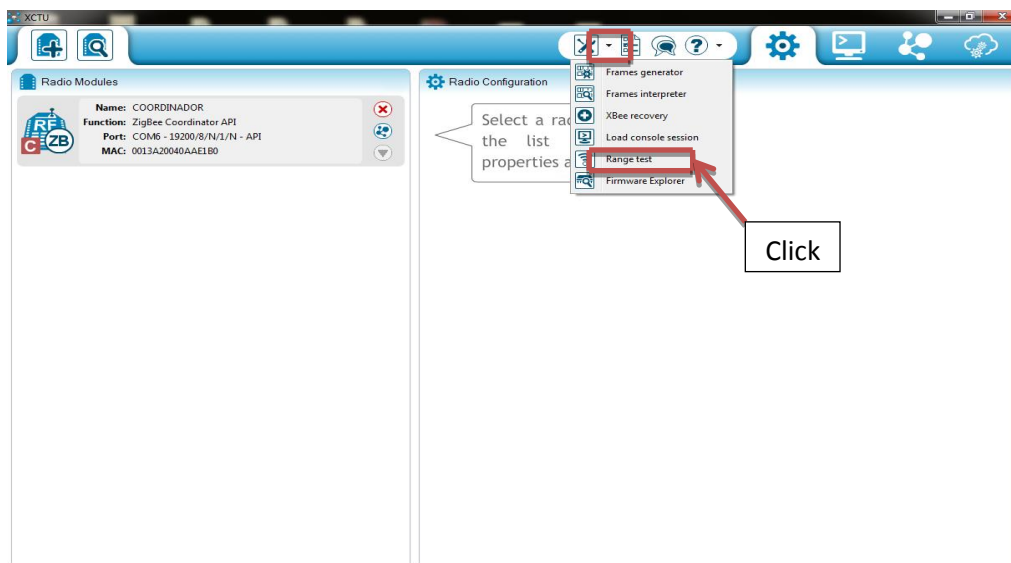
Nos permite ver la configuración actual de cada módulo conectado.



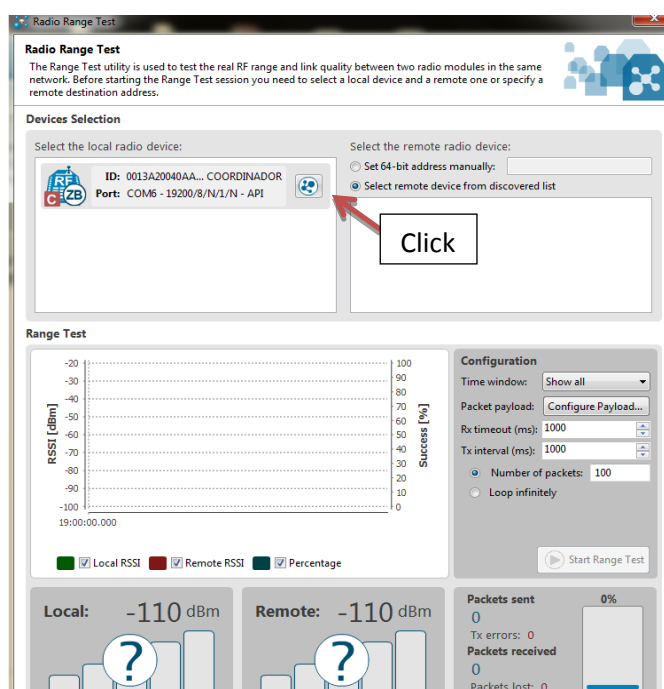
Permite guardar información configurada en el sitio deseado en la computadora.

### **Medición del indicador de fuerza la señal recibida (RSSI).**

Para acceder a estos datos se debe seleccionar la opción “Tools” después se da click en “Range Test”.



Realizando lo primero se genera la siguiente ventana:



Al presionar lo indicado en la figura anterior aparecerá una ventana que permite buscar dispositivos remotos automáticamente o con referencia a su

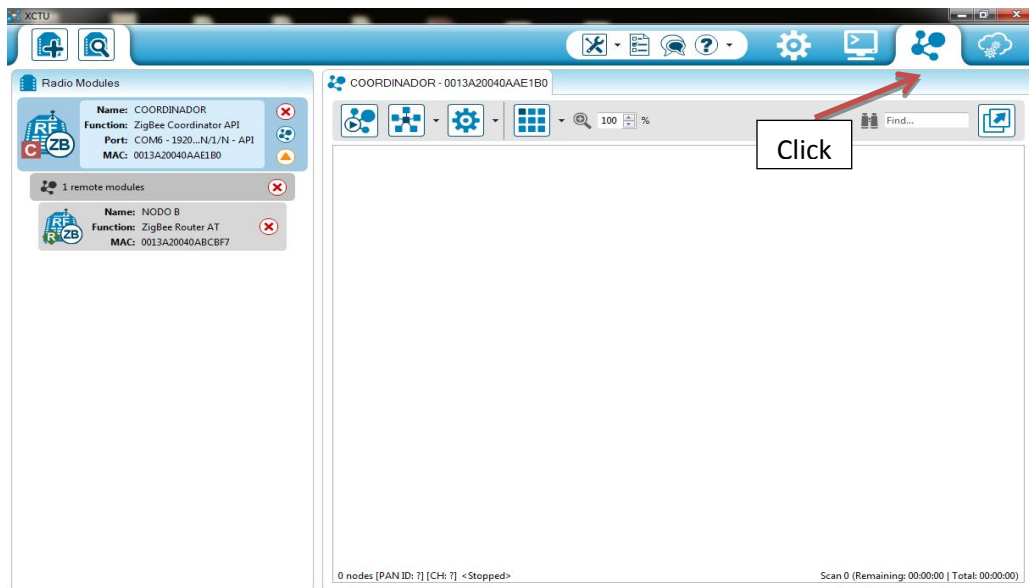
MAC address, se selecciona con el cual se quiere generar el RSSI y por último se da click en “Start Range Test”.



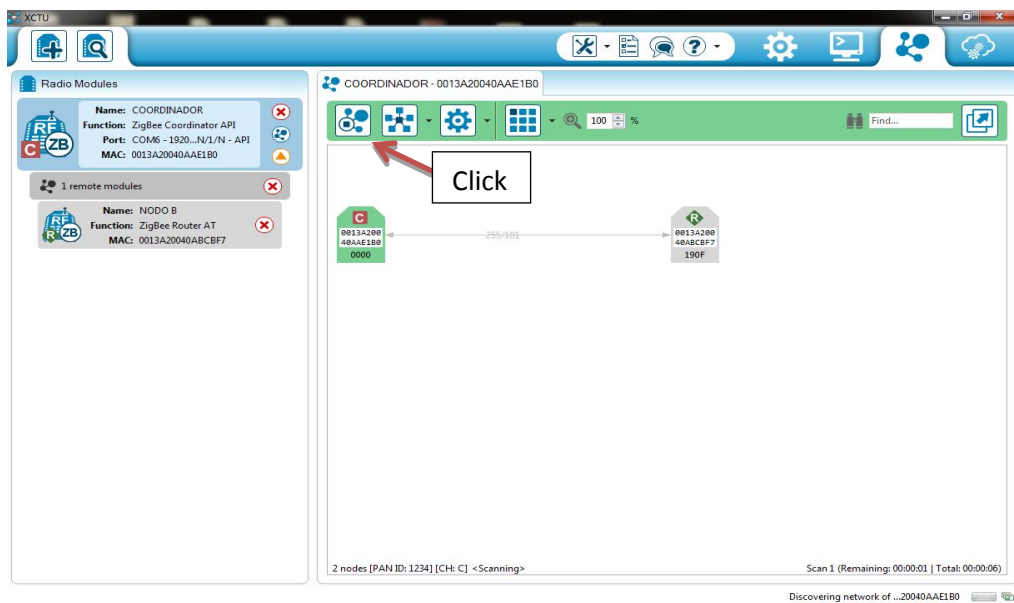
## Generación de la topología de red.

Después de buscar y encontrar dispositivos remotos, se selecciona el icono

de redes  y aparece lo siguiente:



Luego se presiona “Start” comienza a generarse la topología de red



## ANEXO D

### CODIGO PIC 12LF1822

```
short variable_1;

char uart_rd;

unsigned int temp_res;

float floatvar;

char txt[7];

short i,chkm;

void config() {
    TRISA = 0X10;

    PORTA = 0X00;

    ANSELA= 0X10;

    OSCCON=0XEB;           //4MHZ

    UART1_Init(19200);     // Initialize UART module at 19200 bps
    Delay_ms(100);        // Wait for UART module to stabilize
    PORTA=0XFF;
}

void main() {
    config();

    do {
        temp_res = ADC_Read(3);           // Get 10-bit results of AD conversion
```

```
floatvar = (float)temp_res*99/2048; // cast, vuelve a temp_res float;
FloatToStr(floatvar, txt);

Delay_ms(2000);

chkm=0x451;
for(i=0;i<4;i++)
chkm=chkm+txt[i] ;
chkm&=0x00ff;
chkm=0xff-chkm; //resta

UART1_Write (0x7E); //Inicio de trama
UART1_Write (0x00); //Longitud de trama
UART1_Write (0x13);
UART1_Write (0x10); //Tipo de trama
UART1_Write (0x01); //ID de trama
UART1_Write (0x00); //Direccion de destino
UART1_Write (0x00); //de 64 bits
UART1_Write (0x00);
UART1_Write (0x00);
UART1_Write (0x00);
UART1_Write (0x00);
UART1_Write (0xFF);
```

```
UART1_Write (0xFF);
UART1_Write (0xFF); //Direccion de destino
UART1_Write (0xFE); //de 16 bits
UART1_Write (0x00); //Numero de saltos
UART1_Write (0x00); //Opciones
UART1_Write (0x41); //DATO: ID de nodo
for(i=0;i<4;i++)
{
UART1_Write(txt[i]); //DATO
}
UART1_Write (chkm); //Checksum

UART1_Write(10); //Salto
UART1_Write(13); //Retorno de linea
} while(1);
}
```