 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Sistema de comunicación con sensores para la detección y prevención de incidentes en Ambientes industriales

Cristian Lezcano Bedoya

Ingeniería en telecomunicaciones

Leonardo Serna Guarín

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2017.02.17

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En la industria existen riesgos y peligros a los que están asociados los trabajadores, en la ejecución de sus funciones y obligaciones diarias, los cuales pueden ser generadores de eventos que vulneren la integridad de las personas y la infraestructura de la compañía, debido a esto se diseñó un sistema capaz de monitorear puntos críticos que son focos de posibles emergencias, los cuales se les debe ejercer un control, rastreo y monitoreo.

Se desarrolla un sistema embebido inalámbrico, diseñado para medir diferentes variables dentro de un ambiente industrial; es un prototipo encargado de tomar los datos mediante un sensor que tiene como función entregar la información a un microcontrolador el cual tiene como ocupación principal procesar los datos y entregárselos a un módulo inalámbrico Xbee el cual funciona bajo tecnología ZigBee, creando una red de multihop y de comunicación entre ellos, estas se denominaron estaciones de campo; para completar el sistema existe un receptor en el cual convergen todas las señales activadas en la red, esta comunicado vía USB con un computador en el que se desarrolló un programa en LabView bajo el lenguaje de programación gráfico, en el reposan todos los datos que se generen en la red, visualizando lugar, fecha, tipo de activación, variable en medición, y activación de la alarma. Así se complementa un sistema de monitoreo destinado a la detección y prevención de incidentes en ambientes industriales.

Este sistema es una herramienta muy útil, de bajo costo e implementación, pensado en las áreas encargadas de salud ocupacional y riesgo en el trabajo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Le agradezco Primero a Dios que ha sido el benefactor de mi vida, en segundo lugar a mis padres que siempre han estado apoyándome desde del inicio hasta la culminación de mi carrera, y en general en toda mi vida.

A mis compañeros de trabajo, que me ayudaron con sus conocimientos en pro de este proyecto, aportando su granito de arena, logrando que el prototipo fuese una gran solución tecnológica. Posiblemente de implementación en la empresa que laboramos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

ARL	Aseguradora de riesgos laborales
NWK	Capa de la red de pila ZigBee
MDS	Escalamiento multidimensional
PIC	Controlador de interfaz periférico
IEEE	Instituto de ingeniería eléctrica y electrónica
TDX	Transmisión de señal de salida
RTX	Recepción de señal de entrada
WSN	Red inalámbrica de sensores
ALU	Unidad aritmética lógica
EEPROM	Eléctricamente programable y borrable memoria de solo lectura
UART	Universal síncrono/asíncrono receptor transmisor
RAM	Memoria de acceso directo
PWM	Modulación de ancho de pulso
RSSI	Indicador de potencia de la señal recibida
ZDO	Punto final de ocupación de un nodo ZigBee
ZC	Coordinador ZigBee
ZDE	Dispositivo final ZigBee
ZR	Router ZigBee
API	Interfaz de programación y extracción de datos
AT	Conjunto de comandos para parametrizar módems
SDLC	Protocolo de nivel de enlace
MAC	Protocolo del uso del medio compartido
AODV	ad-hoc petición de la distancia del vector

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

XCTU	Interfaz de configuración módulos ZigBee
TCP/IP	protocolo de internet
LAN	Red de área local
PAN	Red de área personal
WLAN	Red de área local inalámbrica

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	7
1.2. Justificación.....	9
1.3. Objetivos	10
1.4. Organización de la tesis	10
2. MARCO TEORICO	12
2.1. Red de sensores inalámbrica	12
2.2. Componentes de una red de sensores inalámbrica	12
2.2.1. Sensores.....	12
2.2.2. Terminal base	14
2.2.3. Gateway.....	17
2.2.4. Motas o Nodos.....	17
2.2.4.1 Nodos intermedios.....	18
2.2.4.2. Nodos finales.....	18
2.2.5. Estándares y tecnología inalámbrica.....	21
2.2.5.1 IEEE 802.15.4	23
2.2.5.2 ZigBee	23
2.2.5.2.1. Topología de red.....	24
2.2.5.2.2. Tipos de dispositivos	25
2.2.5.2.3. Seguridad.....	27
2.2.5.3 Módulos X-Bee	28
2.3. Enrutamiento	31
2.3.1. Tipos de enrutamiento	31
2.4. Arquitectura de la red.....	32
2.5. Consumo de energía.....	34
3. Metodología	36
3.1. Etapa 1. Planteamiento del problema.....	36
3.2. Etapa 2. Algunos puntos críticos en un ambiente industrial.....	36
3.3. Etapa 3. Implementos de trabajo y variable de estudio	38

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.4. Etapa 4. Desarrollo del proyecto.....	38
3.4.1. Sensor DHT11	39
3.4.2. Atmega 328	40
3.4.3. Arduino uno.....	42
3.4.4. X-Bee	43
3.4.5 Interfaz X-CTU	47
3.4.6 Interfaz LabView.....	49
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	53
4.1 Arquitectura.....	53
4.2 potencia de transmisión	54
4.3 perdida en espacio libre.....	54
4.4 potencia de recepción	55
4.1. Calculo de distancia de nodos de la red	55
4.3 Resultados y comparativa	58
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	68
6. REFERENCIAS.....	72
7. APENDICES	75

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los avances en la electrónica y las telecomunicaciones crean un mundo de opciones para las empresas que buscan hacer el mejor uso de las tecnologías, con el fin de lograr mayor rendimiento a bajo costo, optimizando todos los recursos y servicios de la compañía, pero en ocasiones pasan por alto implementar tecnología en seguridad industrial dejando al descubierto elementos que puedan ser agentes de riesgo en las labores de producción.

Luego de realizar un análisis al enfoque y divulgaciones que tienen las aseguradoras de riesgos laborales (ARL), se encuentra que sus estudios de riesgo están orientados a los desastres naturales, evidenciando una falencia en la detección, prevención y aviso de desastres a causa de agentes distintos a los de la naturaleza, los riesgos físicos, químicos, biológicos enmarcan otra causal de emergencia en un ambiente industrial.

Por lo anterior se tomó la decisión de diseñar, construir e implementar un sistema de monitoreo, fundamentado en componentes electrónicos: módulos Xbee de comunicación inalámbrica, micro controladores, transistores, resistencias, capacitores entre otros; que registre las variables más importantes que surgen en un ambiente industrial para ello existe un aplicativo desarrollo en LabView, encargado de registrar las activaciones dentro de la red de sensores del sistema, allí se visualizará la ocurrencia de un evento, dando un grado más alto de confiabilidad en el esquema de seguridad industrial, en el proceso productivo, y al personal que labora en la empresa.

Para un desempeño óptimo del prototipo se debe Identificar puntos críticos y de control en un ambiente industrial que potencializan el riesgo de un evento, falla o emergencia, y que deben ser constantemente monitoreados.

El prototipo es una red de sensores capaces de observar y reaccionar ante cambios en el entorno, dispuestos para la recolección de datos que permitan intervenir oportunamente un evento que desencadene una emergencia. El sistema de comunicación se empleó en campo, para hacer los ajustes pertinentes que den confiabilidad al sistema.

Los resultados fueron exitosos en la transmisión inalámbrica de los datos, y en el funcionamiento del sistema.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.2 Justificación

En la actualidad, la tecnología se ha convertido en un elemento neurálgico para la evolución del mundo, y en especial para la industria, anteriormente los sistemas de seguridad se basaban en funciones mínimas, simples, con accionamiento manual por intervención humana, totalmente cableado, y muchas ocasiones sin registro del evento, a medida que la tecnología fue llegando, todos los sistemas fueron mejorando, y ahora los sistemas son autónomos con amplias alternativas de funcionamiento, con diseños de diferente implementación, para la domótica y la industria. Todo con un propósito común, reducir costos, optimizar los recursos, mejorar en seguridad y control. Gracias a las nuevas tecnologías, se decide desarrollar un sistema inalámbrico por sensores capaz de responder frente algún evento específico, convirtiéndose en una solución para la industria

Por tal motivo, se recurre a inspeccionar y analizar, la infraestructura de una compañía agroindustrial, con la que se contó con la posibilidad de acceder e integrar en el desarrollo del prototipo, allí se logró evidenciar posibles focos que pueden ser generadores de una emergencia, debido a que se manejan elementos que fácilmente pueden producir un incendio, explosión, escapes de gas, escapes de químicos, intoxicación, entre otros eventos, debido a que no cuentan con un sistema de monitoreo y de alarma ante alguna inestabilidad, causada en estos espacios como lo son: las zonas de generación vapor donde se cuenta con cinco calderas, y el depósito - almacenamiento de sustancias químicas, (soda y ácido). Todo esto otorga la posibilidad de tomar estos elementos como material de estudio; Así que se decide investigar sobre los alcances de las aseguradoras de riesgos laborales (ARL), frente a planes de control y prevención sobre zonas como estas, y se encuentra que sus estudios de riesgo están orientados a los desastres naturales, y al riesgo al que está expuesto el personal, donde lo relacionan como posible agente de riesgo ante un incidente laboral, esta información ayuda a soportar el objetivo general de este proyecto, donde se demuestra la necesidad de un sistema capaz de monitorear variables que son fuentes de emergencia, pero que no se controlan, por desconocimiento y que el prototipo diseñado puede ser una importante solución

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.3 objetivos

1.3.1 general

- Diseñar e implementar un prototipo de sistema de monitoreo para la prevención y aviso de incidentes laborales que permita identificar y generar un registro de eventos para la intervención en un proceso industrial.

1.3.2 Específicos

- Identificar puntos críticos y de control en un ambiente industrial que potencializan el riesgo de un evento, falla o emergencia, y que deben ser constantemente monitoreados.
- Diseñar un prototipo de red de sensores para la toma, centralización y análisis de datos a fin de intervenir oportunamente los incidentes o eventos en un ambiente industrial.
- Realizar un análisis de la potencia de los dispositivos X-Bee versus los diferentes fenómenos físicos y obstáculos de la industria, y con los resultados obtenidos realizar los ajustes pertinentes que den confiabilidad al sistema de monitoreo.

1.4 Organización de la tesis

Inicialmente se encuentra el nombre de la tesis y sus objetivos

Seguidamente en el capítulo dos se encuentra el marco teórico donde reposa la información necesaria para el desarrollo del proyecto como lo es:

- La definición y concepción de una red de sensores inalámbrica.
- Los elementos que intervienen en la constitución de la red como son: la terminal base, los nodos o motas, la arquitectura; entre otros aspectos necesarios para la construcción de la red, y el prototipo.
- Los estándares y protocolos de comunicaciones inalámbricas como lo es el IEEE 802.15.4 (low-rate wireless personal area networks), para dispositivos fijos, móviles y portátiles, que se comuniquen de forma inalámbrica con bajas tasas de transmisión.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Se analizan aspectos como dispositivos, tecnologías y suministro de energía para los nodos de la red.

En el capítulo tres se presenta la metodología para el desarrollo del proyecto de grado, que está organizado de la siguiente manera.

- Se definen los elementos para la construcción del prototipo como lo son los módulos X-Bee S2, la placa arduino uno, la interfaz de programación, entre otros.
- Seguidamente la programación del microcontrolador atmega 328 de la terminal base, realizado en lenguaje C.
- Se explican los pasos en la programación de los módulos X-Bee en la interfaz de programación X-CTU de Digi.
- Se ilustra la lógica utilizada para la representación de la información recolectada, en la interfaz LabView, la cual trabajara como el Gateway de la red y la descripción de las compuertas utilizadas.
- Se ilustra el montaje de los nodos y la forma en que el sistema opera.

En el capítulo cuatro reposan los resultados y análisis obtenidos, de las pruebas realizadas, del prototipo en campo, en este caso en la infraestructura de una compañía agroindustrial, donde se generan toda clase de obstáculos e interferencias.

En el capítulo cinco se presentan las conclusiones que se obtuvieron de la construcción del prototipo y del trabajo de grado, así como las recomendaciones y trabajo futuro que se puede crear a favor del prototipo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Red de sensores inalámbrica

Una red de sensores inalámbrica o WSN (*wireless sensor networks*) es un conjunto de mecanismos o elementos, destinados a la adquisición, procesamiento de la información de su ambiente, son autónomos, de bajo consumo y coste, reciben el nombre de nodos ya que una de sus funciones es establecer un enlace entre ellos con el fin de reenviar la información desde el más lejano, hasta el nodo central de coordinación. Basados en estándares de la IEEE para comunicaciones inalámbricas.

La instalación y distribución de los sensores depende de las variables físicas o ambientales que se requieren monitorear como: temperatura, humedad, presión, sonido, vibración, gases, agua etc. Así como el ambiente y los obstáculos que se encuentren en la creación de la red, las terminales o nodos deben contener autonomía y para ello es necesario un microcontrolador, una fuente de energía, un radio-transceptor y un sensor.

Una característica predominante en las redes de sensores es que son diseñadas para una sola aplicación muy concreta, con el fin de garantizar su desempeño. Frente a este sistema se plantean interrogantes como las tecnologías a usar, la disposición de los sensores, topología de red y áreas o entorno donde se ubicaran los nodos, todas estas incógnitas se resolverán a medida que tome forma el prototipo, para ello se deben tener presente los parámetros y elementos que enmarcan una sistema de comunicación inalámbrica.(

Parámetros de una red inalámbrica:

- Tiempo de vida
- Cobertura de la red
- Coste y facilidad de instalación
- Tiempo de respuesta
- Precisión y frecuencia de mediciones
- Seguridad
- Flexibilidad

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Robustez
- Capacidad de comunicación y computación
- Gasto energético

2.2 Componentes de una red de sensores inalámbrica (WSN)

2.2.1 sensores

Los sensores tienen como función tomar toda la información de su entorno, dependiendo de su naturaleza o estructura para la cual fue diseñado, convirtiendo variables físicas o químicas como: temperatura, humedad, luminosidad, gas, etc. en señales eléctricas. Estos son los encargados de medir, almacenar y tratar la información que se desea monitorear. Los sensores requieren de una fuente de energía para su acción básica. Existen dos clasificaciones analógicas y digitales.

- Analógicos: son aquellos que emiten una señal que varía en el tiempo sobre un intervalo de valores continuos, que son proporcionales al efecto que están midiendo, se representa en una onda sinusoidal.
- Digitales: son aquellos que frente a un estímulo pueden cambiar de estado, ya sea de cero a uno o de uno a cero, y se obtiene dos estados de tensión únicamente 0V o 5V.

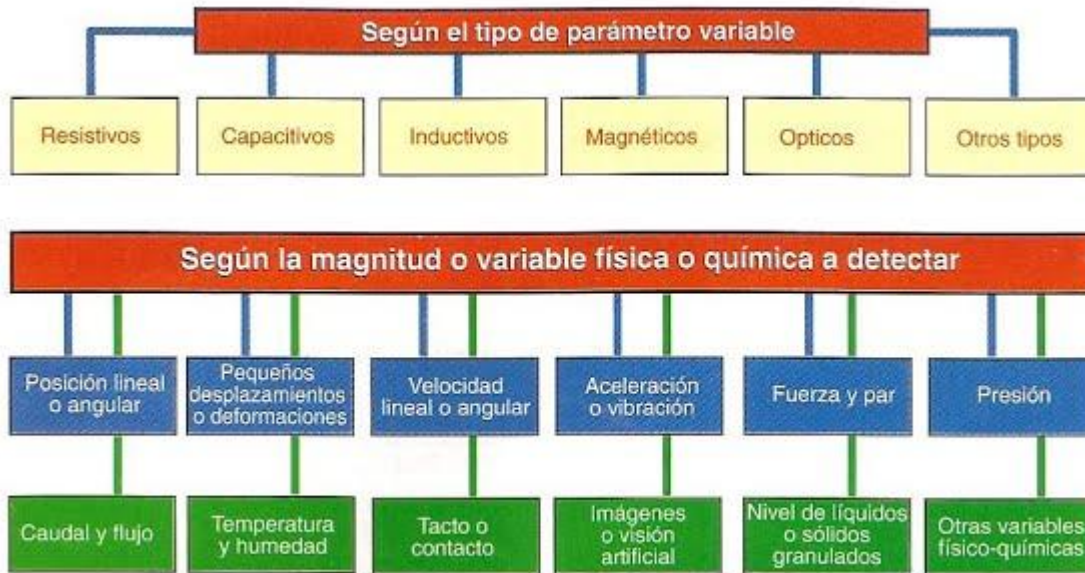


Figura 3.5 Criterios de clasificación comunes de sensores electrónicos

Figura 1. Tipos de sensores según la variable a medir

<https://sites.google.com/654sensoresindustriales>

2.2.2 terminal base

La terminal base es un sistema embebido, que tiene como objetivo el procesamiento de los datos adquiridos en la WSN, además de la integración con todos los elementos que conforman la red de monitoreo. Responsable de comunicarse con el nodo uno, y probablemente con un *Gateway* y un PC. Cabe destacar dos tecnologías como herramientas de enseñanza y desarrollo de sistemas simples, que son de gran utilidad como Arduino y Raspberry, las cuales fueron creadas con características muy amplias y de implementación en diferentes disciplinas. En la tabla 1. Se encuentra un comparativo de las características de la placa arduino uno y de la Raspberry Pi.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 1. Comparativo tecnología Arduino - Raspberry

CARACTERISTICAS	ARDUINO UNO	RASPBERRY PI
VCC	7v a 12v	5v
procesador	Atmega 328	Broadcom BCM2835
memoria	EEPROM de 1KB	512Mb SDRAM
Velocidad de reloj	16Mhz	700Mhz
Pines I/O	14: 6 de ellos como salidas PWM, 6 entradas analógicas	40 GPIO, 24 I/O
comunicación	Serial-USB	10/100 base T Ethernet
Software	Arduino software ide. Código abierto, se ejecuta en Windows, MAC, OSX, Linux, el entorno está basado en java.	Raspbian y NOOBS : son distribución del sistema operativo GNU/Linux , corren en tarjeta SD de 4G +
Costo comercial	70.000 \$	150.000 \$
Ventajas	<p>Puede ser programado con pequeñas aplicaciones como en C.</p> <p>Su simplicidad lo hace mas mucho mejor para proyecto de hardware.</p> <p>Tiene capacidad analógica y en tiempo real.</p> <p>Puede trabajar con cualquier</p>	<p>Es una computadora totalmente funcional.</p> <p>Es 40 veces más rápida en velocidad de reloj que arduino.</p> <p>Tiene 128.000 veces más memoria RAM.</p> <p>Puede ejecutar varias tareas a la vez.</p>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	<p>sensor o chip.</p> <p>Mucho más fácil de programar.</p> <p>Se puede prender y apagar sin restricción sin sufrir daños.</p> <p>Más económico</p>	<p>Puede ejecutar un sistema operativo real en Linux.</p>
desventajas	<p>Es un microcontrolador, por ende es un componente del computador</p>	<p>No posee capacidad analógica y en tiempo real.</p> <p>Se necesita instalar sistema operativo y librerías para hacer una función básica.</p> <p>Se debe aprender a programar en Linux y python.</p> <p>Requiere un apagado seguro.</p> <p>Más costoso.</p>



Figura 2. Arduino Uno
<http://www.Arduino.cc>



Figura 3. Raspberry Pi
<http://www.raspberrypi.org>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Concluyendo en el comparativo de las dos tecnologías, revisando características, ventajas y desventajas, se define arduino como mejor opción de implementación en la terminal base; dado a que su flexibilidad, coste e integración con demás componentes es muy amigable, y viene ligado a la familia Atmel. Más adelante se profundizara sobre arduino.

2.2.3 Gateway

Es la interfaz entre la plataforma de aplicación y los nodos de la red, toda la información recibida por el *Gateway* es acumulada y reenviada a la plataforma de aplicación, para su debido tratamiento, para luego ser mostrada al usuario. Es decir que permite la interconexión entre la WSN y una red TCP/IP.

2.2.4 motas o nodos

Se denominan motas a los transceptores que tienen como función principal, el procesamiento y enlace de la información que entrega el sensor, y él envió de dicha información a la terminal central, para que estas tareas se ejecuten se requiere de un microcontrolador.

“Un microcontrolador es un circuito integrado o un chip, que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, que se trata de una computadora completa en un solo circuito integrado programable y que se dirige a gobernar una sola tarea con el programa que reside en su memoria. Sus líneas de entrada/salida soportan las conexiones de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar”. (Grayeb, 2008).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

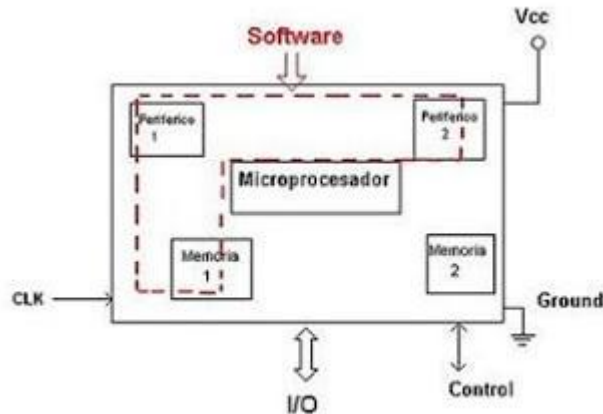


Figura 2. Esquema de un microcontrolador

<http://www.Microcontroladores-e.galeon.com>

2.2.4.1 Nodos intermedios

También conocidos como “router” son encargados de extender el alcance de la red, rodear obstáculos, y proveer rutas alternativas para el tránsito de mensaje que envían al *Gateway*, estos nodos están conectados a los sensores vía digital o analógica para el trabajo de entrada y salida de la información, a su vez que deben tener suministro de energía sea por una batería o red eléctrica. (Valdiviezo, D. (2009))

2.2.4.2 Nodos finales

Son considerados por dispositivos de funciones reducidas, pues tan solo tiene la labor de sentir la información y transmitirla al nodo siguiente. Son el propósito final por el que se monta toda la estructura de la red, pues son la interfaz física a sensor y la red. Por lo general cuentan con más de una conexión de entrada y salida para comunicarse con sensores, y siempre son alimentados por baterías. (Valdiviezo, D. (2009))

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para la constitución de las motas, se analizan las características de dos tipos de Microcontroladores. Que posibilitan su creación y desempeño según el objetivo del prototipo. En la tabla 2. Reposan las características del pic 18f2550 de la familia microchip, y el atmega 328 de la familia Atmel, estos dos Microcontroladores poseen características y funcionalidades muy eficaz que potencializan la capacidad de recepción, procesamiento y envío de las señales, que intervienen en la WSN, por esta razón se realiza un comparativo ya que son muy semejantes, pero se debe tener como precedente que la placa arduino uno está ligada directamente a la familia Atmel y que por ende es el microcontrolador utilizado en el prototipo, se considera importante anexar la información de su homólogo ya que la compañía microchip es dominante por su diversidad en Microcontroladores PIC y sus librerías.

Tabla 2. Comparativo PIC 18f2550 - Atmega 328

características	Microchip pic18f2550	<u>Atmel atmega328</u>
Program Memory (KB)	32	32
SRAM (KB)	2	2
EEPROM (Bytes)	256	1024
Serial communication (USART)	1	1
SPI	1	1
I2C	1	1
USB	1	0
PWM Channels	2	6

ADC channels (10 bit)	10	8
Timers	1 x 8-bit 3 x 16-bit	2 x 8-bit 1 x 16-bit
Analog comparators	2	1
Operating Voltage Range (V)	2-5.5	1.8-5.5
Max I/O Pins	24	23
F.max (MHz)	48	20
Current consumption run mode at 25°C and 5V	2.2 mA (1MHz)	5.2 mA (8MHz)
Current consumption idle mode at 25°C and 5V	1 mA (1MHz)	1.2 mA (8MHz)
Current consumption sleep mode at 25°C and 3V	2.0 μ A	\sim 1 μ A

Tomada: <http://www.Wiki.pinguino.c>

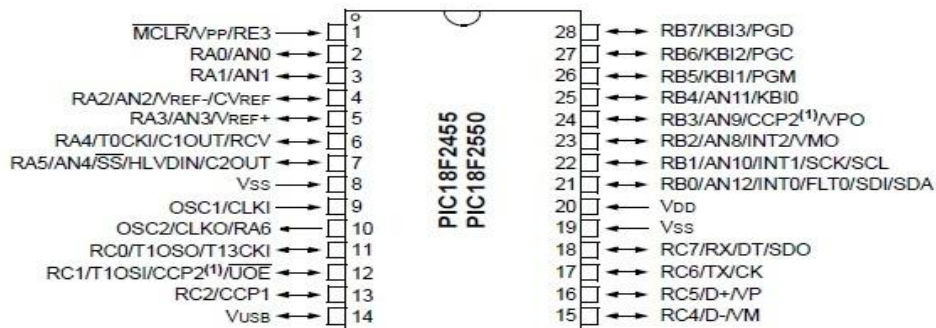


Figura 3. PIC 18f2550

Tomada: <Http://www.Microchip.com>

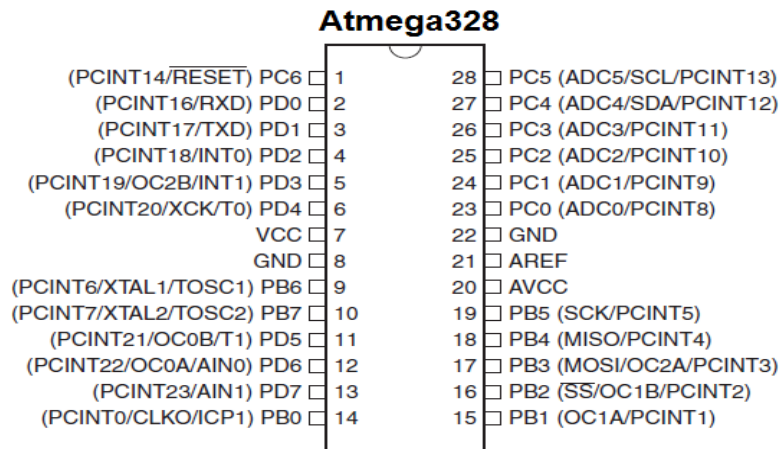


Figura 4. Atmega 328

Tomada: <http://www.Arduino.cc>

2.2.5 estándares y tecnología inalámbrica

Toda red de sensores inalámbrica (WSN), debe estar basada en los estándares de comunicaciones inalámbricas de la IEEE, algunos de los más conocidos son el IEEE 802.11b (“Wi-Fi”) para redes LAN, el IEEE 802.15.1 (Bluetooth), el IEEE 802.15.4 (ZigBee), para redes PAN. Trabajan en las bandas ISM (*Instrumentation, scientific and medical radio bands*), 902-908Mhz, (EEUU); 868-870Mhz, (Europa); 433.05-434.79Mhz (EEUU y Europa); 314-316 MHz (Japón); la banda de 2.400-2.4835 GHz, universalmente utilizada.

En la tabla 3. Se realiza una comparativa de las características de las tres tecnologías inalámbricas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 3. Comparativa tecnologías inalámbricas



Estándar	Wi-Fi 802.11g	Wi-Fi 802.11b	Bluetooth 802.15.1	ZigBee 802.15.4
Aplicación principal	WLAN	WLAN	WPAN (sustituir cable entre dos dispositivos)	Control y monitorización
Memoria necesaria	1MB+	1MB+	250KB+	4KB - 32KB
Vida Bateria (días)	0,5 - 5	0,5 - 5	1 – 7	100 - 1000+
Tamaño Red	32 nodos	32 nodos	7	255 / 65.000
Velocidad (Kbps)	54 Mbps	11 Mbps	720 Kbps	20 – 250 Kbps
Cobertura (metros)	100	100	10 (v1.1)	1 – 100
Parámetros más importantes	Velocidad y Flexibilidad	Velocidad y Flexibilidad	Coste y perfiles de aplicación	Fiabilidad, bajo consumo y muy bajo coste

Tomada: <https://www.docplayer.es>

Analizando los datos arrojados por la tabla 3. Se distingue la tecnología ZigBee como comunicación inalámbrica de alto nivel entre dispositivos, ideal para una infraestructura de red de sensores. Unas de sus características más resaltables son la fiabilidad, bajo consumo, bajo coste y autoconfiguración, convirtiéndose en una solución muy atractiva para desarrollos en un ambiente residencial o industrial. Creando una red de hasta 65000 nodos, Con tres clases de topología de red. Esta tecnología es ideal para control y monitorización, lo cual es el objetivo del prototipo.

La ZigBee Alliance publicó las especificaciones indicando las recomendaciones para aplicaciones, sobre el estándar IEEE 802.15.4 con el fin de compatibilizar la producción de dispositivos y uniformizar las investigaciones.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.5.1 IEEE 802.15.4

define las especificaciones de la capa física (PHY), y la subcapa de control de acceso al medio (MAC) de dispositivos fijos, móviles o portátiles que se comuniquen de forma inalámbrica con bajas tasas de transmisión (low-rate wireless personal área networks), es la base sobre la que se define ZigBee, el estándar 802.15.4 admite dos topologías estrella y peer to peer. Este estándar uniformiza el uso de redes malla o mesh usando 2 bandas diferentes, así como tasas de datos de 20, 40 y 250Kbps.

Capa física: encargada de la detección de la señal RF, y la mejora de la calidad de la señal, además determina métodos de acceso a los canales de radio a usarse. También está determinado el tamaño del paquete y el direccionamiento de los nodos de la red. La Frecuencia y tipo de modulación es: (2.4Ghz, 16-QAM ,915Mhz y 868 MHz, DSSS Y BPSK).

Control de acceso al medio: se define el modo en que los nodos acceden al canal en especial cuando se tienen múltiples nodos intentando transmitir a la vez. Timing, asociación con un nodo coordinador, direccionamiento, prevención de colisiones, retransmisión, encriptación, ruteo de 2 saltos a través de un coordinador. (Valdieviezo, S. 2009).

2.2.5.2 ZigBee

Este estándar ha sido desarrollado como un protocolo de tecnología inalámbrica abierta que permite reducir de forma significativa el consumo y el costo del hardware. El protocolo ZigBee ha sido creado y ratificado por empresas de la ZigBee Alliance. Fue creado como una solución fácil de usar. ZigBee se basa en el estándar 802.15.4 y provee por sobre las capas definidas por este, la capa de red, la cual permite el uso de arquitecturas de redes malla, estrella y árbol.

Quizás la atracción principal en las redes ZigBee es que son auto-configurables y auto-regenerables, esto quiere decir que prevén que los mensajes puedan pasar de un nodo a otro por múltiples caminos pues los nodos son lo suficientemente inteligentes como para re-enrutar el tráfico en caso un nodo se pierda. En lo referente a seguridad, hay lineamientos para lograr

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

encriptaciones de 128bits tanto a nivel de capa de red como de nivel de enlace. Para lograr esto se cuenta con varias “link keys” y tan solo una “networks key”. De este modo, la comunicación unicast entre dos nodos a nivel de aplicación es encriptada por una llave compartida tan solo por los nodos involucrados a nivel de enlace, mientras que la comunicación broadcast es encriptada por una sola llave común de todos los nodos a nivel de red.

El estándar ZigBee se define en tres bandas de frecuencias diferentes:

868-868.6 MHz (banda de los 868MHz)

902-928MHz (banda de 915MHz)

2400-2483.5MHz (banda de 2.4GHz)

- Capa de red: estilo AODV, multisalto utilizando el ruteo por redes MESH. Asociación a una red, más tipos de encriptación y autenticación.
- Capa de aplicación: permite integrar a los nodos sensores, switches, actuadores, perfiles para varios tipos de dispositivos. (I. Lucas, G. Pablo, M. Osvaldo, G. Carlos, cacic 2010).



Figura 5. Aplicaciones ZigBee

Tomada: técnicas de alta frecuencia ZigBee

2.2.5.2.1 topología de red

Dependiendo de la aplicación de la red ZigBee, se puede utilizar tres tipos de topología. Cada una de ellas debe establecer una conexión con su coordinador PAN, este tiene la tarea de iniciar y finalizar la comunicación de la red.

- Estrella: el coordinador se ubica en el centro de la red y los demás dispositivos a su alrededor, estableciendo comunicación directa con él, sean FFD o RFD.
- Árbol: el coordinador de la red se comunica con sus dispositivos FFDs, los cuales a su vez se comunican con los nodos de su clúster.
- Malla: los nodos poseen más de una conexión, obteniendo muchas rutas por donde puede viajar la información.

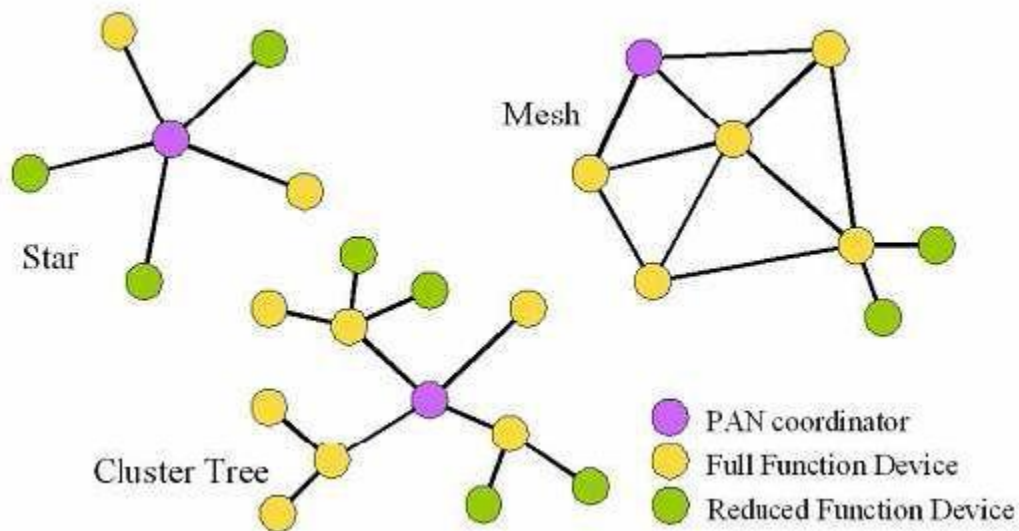


Figura 6. Topologías de ZigBee

Tomada: <http://www.ecured.cu>

Los dispositivos en una red ZigBee se clasifican en dos tipos FFD (full function device) y RFD (reduced function device).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- FFD: son dispositivos que tienen conexión con otras redes y que deben estar conectados a la red eléctrica, se distinguen por tener más memoria y capacidad que los RFD, puede funcionar en topología estrella, capaz de ser coordinador de red, capaz de ser router en la red, generalmente alimentado por la red eléctrica.
- RFD: dispositivos con menos capacidad de cálculo, procesamiento y almacenamiento realizan tareas simples, como monitorear datos, limitado a funcionar en topología estrella, no puede ser coordinador ni router en la red, implementación simple con el mínimo recurso, alimentado por batería.

2.2.5.2.2 tipos de dispositivos

- Coordinador: es indispensable para el funcionamiento de la red, es el encargado de proporcionar las direcciones dinámicas de red a sus dispositivos, no puede existir más de un coordinador por red, es el único que no puede entrar en modo de bajo consumo (sleep), debido a que debe estar escuchando el medio físico de su red. El coordinador ZigBee debe responder a cualquier dispositivo u operaciones del servicio de descubrimiento de su propio dispositivo o de cualquier dispositivo que tenga asociado y que esté dormido. La aplicación del dispositivo debe asegurarse de que el número de entradas de enlace no excede de los indicados en los parámetros de configuración. Por tanto, el coordinador ZigBee tiene que soportar el control del proceso de incorporación a la red de cualquier dispositivo.
El coordinador tiene que mantener una lista de los dispositivos asociados y facilitar el soporte para elementos huérfanos, permitiendo que se vuelvan a unir a la red, permitiendo que los dispositivos se incorporen directamente en la red.
(Moreno & Fernández, 2007).
- Router: actúa como un dispositivo hijo en cuanto necesita que el coordinador u otro router le proporcione una dirección de red. En este estado, el router debe permitir que otros dispositivos se unan a la red basándose en los parámetros de configuración que tiene, como el número de elementos máximos o el tiempo en el que puede estar un elemento en la red. Cuando un dispositivo nuevo se une a la red, la aplicación del dispositivo debe ser informada. Cuando se haya admitido en el PAN, el router debe

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

indicarle la confirmación de la conexión. Si la seguridad está habilitada, el dispositivo debe informar al centro de validación. El router mantiene una lista con los dispositivos asociados y tiene que facilitar el soporte para que los procesos de búsqueda e incorporación de elementos huérfanos de los dispositivos que previamente han estado asociados, puedan volver a unirse a la red.

(Moreno & Fernández, 2007).

- Dispositivo final (ZED): solo puede actuar como dispositivo hijo, debe tener siempre conexión con su coordinador de lo contrario perderá su dirección de red. El dispositivo final ZigBee debe responder a cualquier dispositivo descubierto o a las peticiones de operación del servicio de descubrimiento de su propio dispositivo. Si la seguridad está habilitada, igual que en el apartado anterior, debe negociar primero la clave maestra y seguidamente la clave de enlace, con lo que tiene que poder almacenar también las claves de enlace de los destinos que requieran una comunicación segura. Debe poder gestionar estas claves, tanto para almacenar como para eliminar. Por tanto tiene que poder mantener una comunicación con el centro de validación para actualizar las claves de red (NWK key). (Moreno & Fernández, 2007).

2.2.5.2.3 seguridad

La seguridad en una red de dispositivos ZigBee se basa en claves de enlace y de red. En una comunicación por unicast entre pares de entidades APL la seguridad se basa en claves de 128bits entre los dos dispositivos. Por otro lado, la comunicación existente cuando es por broadcast, también las claves para la seguridad se establecen de 128bits entre todos los dispositivos de la red. Un dispositivo adquiere la clave de enlace mediante el transporte de clave, establecimiento de clave o dada en la preinstalación desde el fabricante. Por otro lado, para el establecimiento de la clave de red hay dos maneras: el transporte de clave y la preinstalación. Como se ha mostrado en apartados anteriores el establecimiento de claves e obteniendo previamente una clave de enlace basándose en una clave maestra. Esta clave maestra puede ser obtenida por el transporte de dicha clave o en fábrica. La clave de red tiene que ser usada por las capas MAC, NWK y APL de ZigBee. Las claves maestras y las de enlace solo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

pueden ser usadas en la subcapa APS, de hecho, las claves maestras y de enlace deben estar disponibles solo en la capa APL. (Moreno & Fernández, 2007).

2.2.5.3 Módulos X-Bee

los módulos XBee es una buena forma de agregar conectividad inalámbrica a un proyecto, estos son fabricados por empresas como MaxStream; la cual tiene más de 70 tipos, los módulos X-Bee proveen 2 formas amigables de comunicación: Transmisión serial transparente (modo AT) y el modo API que provee muchas ventajas. Los módulos XBee, están basados en el protocolo de comunicación ZigBee; el cual sigue el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas. Este tipo de elementos permiten la comunicación de modo bidireccional en modos punto a punto y punto a multipunto, por lo que la interoperabilidad entre diferentes dispositivos es sencilla. Poseen la certificación de la ZigBee Alliance lo que garantiza que estos módulos puedan comunicarse con cualquier plataforma certificada por la ZigBee Alliance. Los módulos XBee pueden ser configurados desde el PC utilizando el programa X-CTU La elección del módulo X-Bee correcto pasa por escoger el tipo de antena (chip, alambre o conector SMA) y la potencia de transmisión (2mW para 300 pies o 60mW para hasta 1 milla).

Características:

- Buen Alcance: hasta 300ft (100 mts) en línea vista para los módulos XBee y hasta 1 milla (1.6 Km) para los módulos XBee Pro.
- 9 entradas/salidas con entradas analógicas y digitales.
- Bajo consumo <50mA cuando están en funcionamiento y <10uA cuando están en modo sleep.
- Interfaz serial.
- 65,000 direcciones para cada uno de los 16 canales disponibles. Se pueden tener muchos de estos dispositivos en una misma red.
- Fáciles de integrar(F.O. Junior).

Tabla 3. Módulos XBee

XBEE	MAX DATA RATE	TRANSMIT POWER	ANTENNA	IO PINS DIGITAL	ADC INPUTS	RANGE
 XBee 1mW PCB Antenna	115.2 kbP	1 mW (+0 dBm)	Built-in	8	(7) 10-bit	300ft (100m)
 XBee 1mW Wire Antenna	250kbps	1mW output (+0dBm)	Built-in	8	(6) 10-bit	300ft (100m)
 XBee 2mW Chip Antenna - Series 2	250kbps	2mW output (+3dBm)	Built-in	8	(6) 10-bit	400ft (120m)
 XBee 2mW PCB Antenna - Series 2 (ZigBee Mesh)	250kbps	2mW output (+3dBm).	Built-in	8	(6) 10-bit	400ft (120m)
Serie 2 mesh						
 XBee 50mW RPSMA	250kbps	50mW output (+17dBm).	RPSMA	8	(6) 10-bit	1 mile (1600m)

XBee Pro 50mW RPSMA - Series 2 (Mesh)						
 XBee Pro 50mW Serie 2.5 Wire Antena	250kbps	50mW output (+17dBm).	Built-in	8	(4) 10-bit	1 mile (1600m)
 XBee Pro 60mW serie 1 PCB Antena	250kbps	60mW output (+18dBm).	Built-in	8	(6) 10-bit	1 mile (1600m)
 XBee Pro 60mW Wire Antena	250kbps	60mW output (+18dBm)	Built-in	8	(6) 10-bit	1 mile (1600m)

Tomada: Tipos de Xbee © 2009 – 2013 Ingeniería MCI Ltda.

Una de las grandes ventajas de utilizar estos módulos es que podemos tener hasta 65.000 combinaciones distintas de red y se pueden hacer redes de punto a punto y punto a multi-punto. El protocolo 802.15.4 pertenece a las redes PAN (Personal Área Network). Para utilizar los módulos con cualquier microcontrolador que incorpore comunicación serial, basta con configurar unos cuantos parámetros, lo cual los hace muy fácil de manejar.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.3. Enrutamiento

El enrutamiento de las redes de sensores inalámbrica se caracteriza por que los nodos no tienen conocimiento de la topología de red, la deben descubrir, ellos deben anunciar su presencia y escuchar los broadcast de sus nodos vecinos, así buscan la forma de encaminarse a través de ellos, a su vez pueden anunciar los nodos que pueden acceder desde el, después de un tiempo cada nodo sabrá cuáles son sus vecinos.

Los algoritmos de enrutamiento deben cumplir unas normas.

- Mantener una tabla de enrutamiento razonablemente pequeña
- Elegir la mejor ruta para un destino dado (ya sea el más rápido, confiable, de mejora capacidad o la ruta de menor coste).
- Mantener actualizada la tabla para la caída de nodos, su cambio de posición o su aparición.
- Requerir una pequeña cantidad de mensajes y tiempo para converger. (Valdiviezo, 2009)

2.3.1 tipos de enrutamientos

Se tienen varios tipos o modelos de enrutamiento como son:

- Protocolo de difusión directa (un salto): es el modelo más simple ya que establece comunicación directa, es un modelo poco rentable y aplicable en redes inalámbricas, ya que es de alto consumo energético, tiene un rango de transmisión limitado, tienen una distancia máxima, y no puede alcanzar siempre la estación base.
- Modelo multisalto (multi-hops): este modelo se basa en que un nodo transmite a través de sus vecinos el cual, reenvía los datos a otro nodo más próximo hasta llegar a la estación base o terminal central. Entonces tenemos que la información viaja de su

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

origen de salto en salto, de un nodo a otro nodo hasta su destino. Es un modelo muy viable y de gran utilización.

- Modelo esquemático basado en clúster: este modelo se define en que los nodos se agrupan en clústeres con una cabeza, la aproximación esquemática rompe la red en capas de clústeres, la responsable de enrutar las cabezas de los clústeres a la estación base o terminal central. Los datos viajan desde un clúster de capa inferior hasta un clúster de capa superior, aunque salta de uno a otro, lo está haciendo de una capa a otra, por lo que cubre mayores distancias, logrando que los datos se lleguen más rápidos a la terminal central. La latencia en este modelo es mucho menor que el *multi-hop*. Al crear estos clústeres se tiene una optimización de las cabezas, este modelo es mucho mejor para redes con grandes cantidades de nodos en espacios muy amplios, ósea grandes distancias.
- Protocolo centrado en el dato (data-centric): si se tiene una gran cantidad de sensores, es difícil identificar de cuál de ellos se requiere un dato, de una determinada zona, este modelo solicita el dato de una zona y espera a que se le remita. Los nodos de la zona negocian entre ellos la información más válida solo esta es enviada. La finalidad de este protocolo es el ahorro energético debido a que todos los sensores enviando información simultáneamente genera un consumo energético muy alto.
- Protocolo basado en la localización: se explota la posición de los sensores para encaminar los datos en la red. (Valdieviezo, 2009).

2.4. Arquitectura de la red

La red está constituida por sensado, procesamiento de la señal, almacenaje del dato, el cálculo y la comunicación. Por ello se define una arquitectura para el sistema.

- Una fuente de energía encargada de suministrar la tensión necesaria para el funcionamiento de las componentes de la red.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Unidad de sensado encargado de la adquisición de la información del ambiente, enlazando las motas con el mundo físico.
- Unidad de cálculo y procesado que es un microcontrolador con memoria que es el que provee de inteligencia al nodo.
- Una unidad de comunicaciones que consiste en un circuito RF de corto rango encargado de transmitir y recibir los datos
- Un sistema operativo encargado de operar y controlar la unidad de sensado, cálculo y comunicaciones.

En la arquitectura del sistema de procesamiento de un nodo se puede observar que la unidad de sensado se encuentra dividida en dos partes principales. El sensor que es el encargado de transformar la medida física en impulsos eléctricos analógicos y el convertidor análogo-digital o ADC que es quien convierte en bits dicha medida para entregársela a la unidad de cálculo y procesado.

Por otro lado la unidad de cálculo y procesado es quien almacena el conjunto de procedimientos y tareas que hace que este nodo pueda colaborar con los de más nodos de la red para lograr el transporte de la data.

Finalmente, la unidad de comunicaciones es la encargada de enlazar al nodo individual con el resto de dispositivos de la red. (Valdiviezo, 2009).

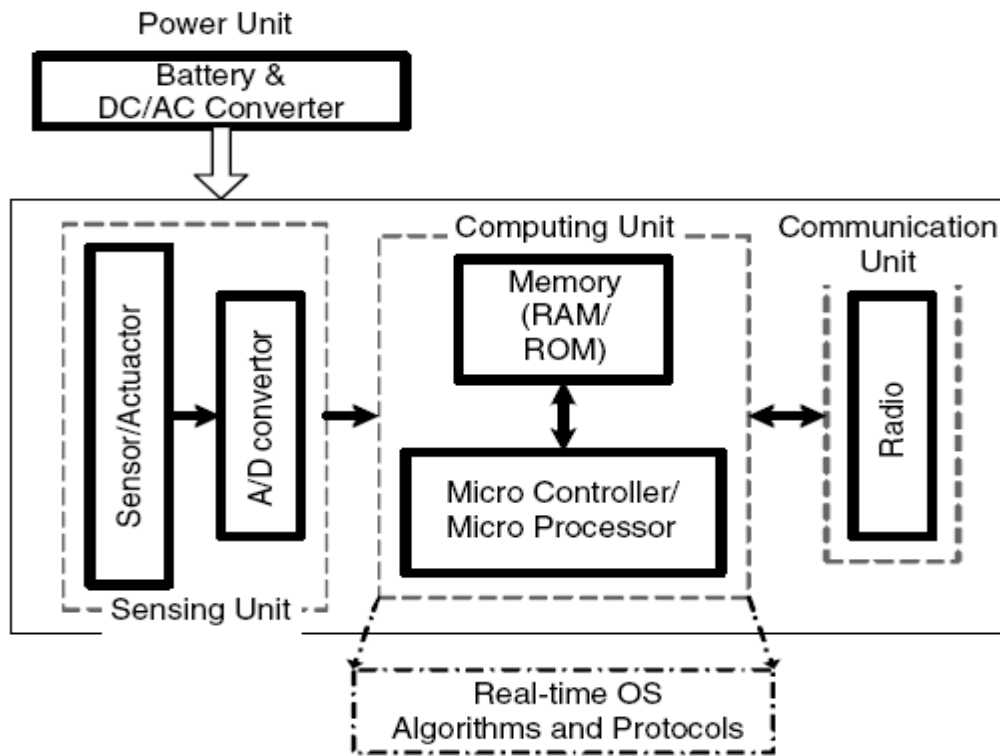


Figura 7. Arquitectura del sistema de un nodo

Tomada: <https://www.google.com/image>

2.5. Consumo de energía

En el momento de diseñar e implementar una red de sensores inalámbrica, se debe tener muy presente el consumo de energía, de los elementos que la conforman, actualmente existen dos alternativas eficientes para el suministro de energía a los nodos de la red. Las baterías son una de ellas; si el sistema es de tiempos de vida relativamente cortos. Pero si el objetivo es todo lo contrario, y se desea unos tiempos de vida más largos, estar conectados a una red eléctrica de carga continua es mejor opción. Investigaciones demuestran que el consumo de energía en los nodos aumenta en el momento de la transmisión.

Ante esto, las actuales investigaciones están dirigidas principalmente a dos técnicas en busca de optimizar el consumo de energía por nodo. La transmisión vía radio o RF y la transmisión vía

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

señales ópticas. En el primer caso, la principal desventaja se encuentra en el tamaño mismo de los motes. Al ser tan pequeños, demandan antenas pequeñas (alta frecuencia), el problema es que a comparación de los nodos que funcionan a bajas frecuencias, necesitan más potencia para emitir a la misma distancia; siendo de este modo la comunicación con esta técnica poco compatible con la operación en baja potencia de los nodos. En el segundo caso, la potencia de transmisión es mucho menor pues al transmitir por medios ópticos se trabaja la señal dentro del nodo siempre en banda base sin la necesidad de incorporar moduladores, filtros activos o demoduladores. En adición a esto, al tener el espectro visible de la luz una longitud de onda tan corta, es posible adecuar un concentrador de haz de luz de escala milimétrica en el nodo logrando una amplificación comparable con una antena isotrópica de cinco o seis órdenes de magnitud. Sin embargo, las desventajas son más evidentes pues a priori se necesita línea de vista entre ambos nodos lo cual no siempre es posible y de ser factible la línea de vista, se necesita tener mucha precisión para apuntar el estrecho haz de luz y evitar que se mueva de su lugar. (Valdiviezo, 2009).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

3.1 Etapa 1. Planteamiento del problema

Los métodos tradicionales de seguridad, han sido centrados en minimizar los riesgos por agentes ambientales, como (terremotos, deslizamientos, tormentas eléctricas, inundaciones, entre otras); buscando eliminar y prevenir los riesgos desde su fuente de origen, creando estrategias de inducción, capacitación y entrenamiento, logrando que las personas adopten un comportamiento más rápido y receptivo ante la ocurrencia de un evento, que desencadene una emergencia; sin embargo, no se tiene presente en ocasiones que algunas inestabilidades pueden ser causal también de un riesgo, no solo la naturaleza puede generar algún estrago o emergencia, también se deben considerar otros agentes de riesgo como el físico ejemplo(un error humano, deterioro estructural, desgaste de un material),químico(derramamiento de alguna solución tóxica, escape de gas, fallas técnicas o de materiales). Por eso el prototipo está enfocado a variables críticas en la industria las cuales deban estar monitoreadas, se facilita el desarrollo del proyecto en una compañía agroindustrial, la cual nos sirve como materia de pruebas para el sistema diseñado, utilizándolo en la zona de generación y transformación de vapor, donde hay varias calderas que suministran el vapor de toda la compañía, se identifica esta área como punto crítico ya que los elementos que intervienen en este proceso son de muy alta capacidad y no se cuenta con un sistema de control a la elevación de la temperatura externa de estos equipos donde posiblemente pueda existir un escape o una alza de temperatura anormal; determinando así la variable temperatura como objeto de estudio y de ajuste para el modelo.

3.2 Etapa 2. Algunos puntos críticos en un ambiente industrial

Identificación de puntos críticos a los cuales se les quiere ejercer un control y monitoreo en un ambiente industrial, que generen inestabilidad en la compañía, se evidenciaron algunos importantes en los cuales se puede implementar el prototipo diseñado, entre estos se encontró.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Puntos de trabajo en los cuales se dependa de altas tensiones de voltaje, acumulación de energía transformada en calor, con el fin de prevenir incendios o explosiones monitoreando las variables de interés que puedan ocasionar dicho acontecimiento.
- Puestos de trabajo que involucren almacenamiento o distribución de elementos o sustancias que al entrar en contacto con el organismo por cualquier vía de ingreso pueden afectar seriamente al trabajador. Teniendo como objetivo controlar las variables específicas como temperatura y humedad para evitar riesgos químicos o biológicos con dichas sustancias.
- Áreas de trabajo que cuentan con maquinaria tal como motores, bombas, compresores de aire, atmosferas, etc. Que sean fuentes excesivas de ruido, que provoquen un daño a largo plazo, buscando proteger de la mejor manera al trabajador.



Figura 8. Puesto de trabajo almacenamiento y transporte de sustancias químicas

Tomada: <https://quimicaglobal.mx>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3 Etapa 3. Implementos de trabajo y Variable de estudio

Teniendo identificados estos puntos neurálgicos en la industria, se perfilan variables como temperatura y humedad, como objeto de muestreo en el sistema de monitoreo de la WSN. Pues en cualquier empresa es común y necesario el uso de energía eléctrica a altas tensiones, que fácilmente se transforman en calor, para esto se realizaran las mediciones en el exterior de una caldera, con el fin de medir la temperatura emitida por este equipo y probar la eficiencia de la señal en el prototipo.

Las herramientas necesarias para la implementación de este proyecto son:

- Sensor de temperatura y humedad DHT11.
- Xbee serie 2.
- Microcontrolador atmega 328
- Sistemas de desarrollo arduino.
- Ide arduino.
- Software x-ctu de Digi.
- Software LabView de National Instruments.
- Microsoft Access
- Componentes electrónicos adicionales.

3.4 Etapa 4. Desarrollo del proyecto

Para el diseño e implementación físico propuesto, en primer lugar se procedió a escoger los elementos que formaran el sistema de monitoreo, se analizaron las características de diferentes elementos como Arduino uno, Raspberry pi, Microcontroladores PIC y Atmel, Xbee S2 Y Xbee PRO, interfaces de desarrollo. Se optó por escoger arduino uno, microcontrolador Atmega 328, sensor DTH11, Xbee S2 para la adquisición, procesamiento, transmisión de señales e información dentro del sistema desarrollado.

también se hizo necesario encontrar herramientas que ayudaran al procesamiento y presentación visual de la información para ser entregada de forma entendible en el sistema, se optó por las

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

interfaces X-CTU de digi para la configuración de los módulos Xbee, encargados de la comunicación inalámbrica, la interfaz LabView para la transcripción de la información digital, en mensajes comprensibles; ya que esta interfaz permite crear un programa de forma más simple y rápida para el procesamiento de la información; y por último una base de datos gobernada por Microsoft Access, encargada de generar un histórico de eventos, ya que es necesario conservar la información durante un tiempo x , debido a los protocolos de seguimientos de accidentes o incidentes que se puedan ocasionar, y que los datos recolectados por el sistema ayuden a definir posibles causas por las cuales se generó este evento.

3.4.1. Sensor DHT11

Este sensor tiene la característica de medir tanto temperatura como humedad, configurando la información en una trama de un byte, donde 4 bits son para la señal temperatura y los otros cuatro bits, para la señal humedad, tiene la señal digital calibrada por lo que asegura una alta calidad y una fiabilidad a lo largo del tiempo, ya que contiene un microcontrolador de 8 bits integrado. Está constituido por dos sensores resistivos (NTC y humedad). Tiene una excelente calidad y una respuesta rápida en las medidas. Puede medir la humedad entre el rango 20% – aprox. 95% y la temperatura entre el rango 0°C – 50°C.

Se escoge este sensor para medir la temperatura exterior del cuerpo de atomización de las calderas, esto con el fin de monitorear un cambio en la temperatura normal de trabajo, la cual se establece aproximadamente en $42^{\circ} \pm 5^{\circ}$ a su máxima presión de trabajo 280 Lb. Se prefiere este sensor por su costo, y compatibilidad con la placa arduino.

Model	DHT11		
Power supply	3-5.5V DC		
Output signal	digital signal via single-bus		
Sensing element	Polymer resistor		
Measuring range	humidity 20-90%RH; temperature 0-50 Celsius		
Accuracy	humidity +-4%RH (Max +-5%RH); temperature +-2.0Celsius		
Resolution sensitivity	or	humidity 1%RH;	temperature 0.1Celsius
Repeatability		humidity +-1%RH;	temperature +-1Celsius
Humidity hysteresis	+-1%RH		
Long-term Stability	+-0.5%RH/year		
Sensing period	Average: 2s		
Interchangeability	fully interchangeable		
Dimensions	size 12*15.5*5.5mm		

Figura 9. Datos técnicos sensor DHT11

Tomada: <https://tallerarduino.com/sensor-dht11>

Acto seguido se crea el código en la plataforma arduino, como se puede observar en la figura 10. Una vez hecho el código utilizando lenguaje de programación C, y haciendo su respectiva verificación, se guarda o (quema) en el microcontrolador Atmega 328.

3.4.2. Microcontrolador Atmega 328

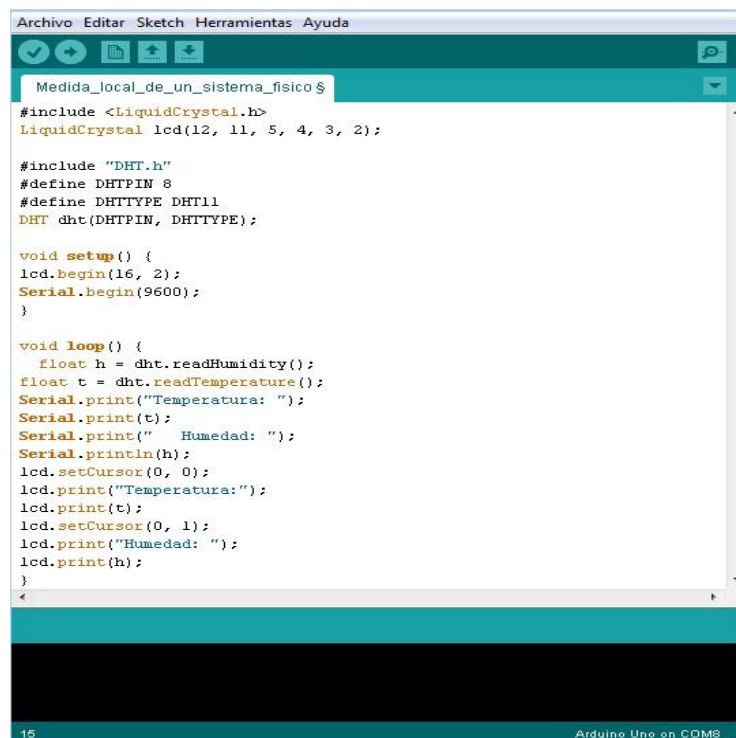
Son utilizados para aplicaciones que requieren grandes cantidades de código, los dispositivos de la familia mega AVR, cuentan con características muy amplias como: memoria de programa y de datos con un rendimiento hasta de 20 MIPS, bajo consumo de energía, modo sueño (sleep) para ahorro de potencia, auto-programación, disponen de dispositivos en el chip flash, SRAM, EEPROM, oscilador de precisión interna, alta integración de pines I/O. (www.atmel.co)

Funciones analógica que incluyen detectores de temperatura, caída de tensión, comparadores, amplificadores logrando menos periféricos externos gracias a su buena integración, tiene un sistema de programación simplificado para obtener un rápido desarrollo buscando extenderse

a cualquier aplicación mega AVR dispositivos esta entre los mejores MCU cuando se trata de consumo de energía. Y las demás características de la tabla ()

Función	pin
Señal de entrada	0,1
Señal de salida XBee	0,1
Señal de salida Lcd	2,3,4,5,6
Salida advertencia	10
Salida alarma	11
alimentación	7
tierra	8

Tabla 4. Conexión de funcionamiento de atmega 328



```

Archivo  Editar  Sketch  Herramientas  Ayuda
Medida_local_de_un_sistema_fisico $
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

#include "DHT.h"
#define DHTPIN 8
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.print(t);
  Serial.print(" Humedad: ");
  Serial.println(h);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Temperatura:");
  lcd.print(t);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Humedad: ");
  lcd.print(h);
}

```

Figura 10. Programación en lenguaje C, microcontrolador atmega 328

Este microcontrolador es totalmente compatible con las placas Arduino en el prototipo se utiliza la placa Arduino uno para la terminal base.

3.4.3. Arduino uno

Es una placa con un microcontrolador de la marca Atmel, conectado a un módulo adaptador USB-serie que permite programar el microcontrolador desde cualquier PC. Dispone de 14 pines de I/O, a los cuales se les puede conectar cualquier dispositivo capaz de transmitir y recibir señales digitales de 0 y 5v; al igual contiene I/O analógicas. Mediante las entradas analógicas se puede obtener datos de sensores en formas de variaciones continuas de voltajes, las salidas analógicas pueden utilizarse para enviar señales de control (PWM). (www.arduino.cc).

Luego de tener seleccionado el sensor y con el código funcionamiento desarrollado, Se continuó con la elección de los módulos inalámbricos a utilizar.

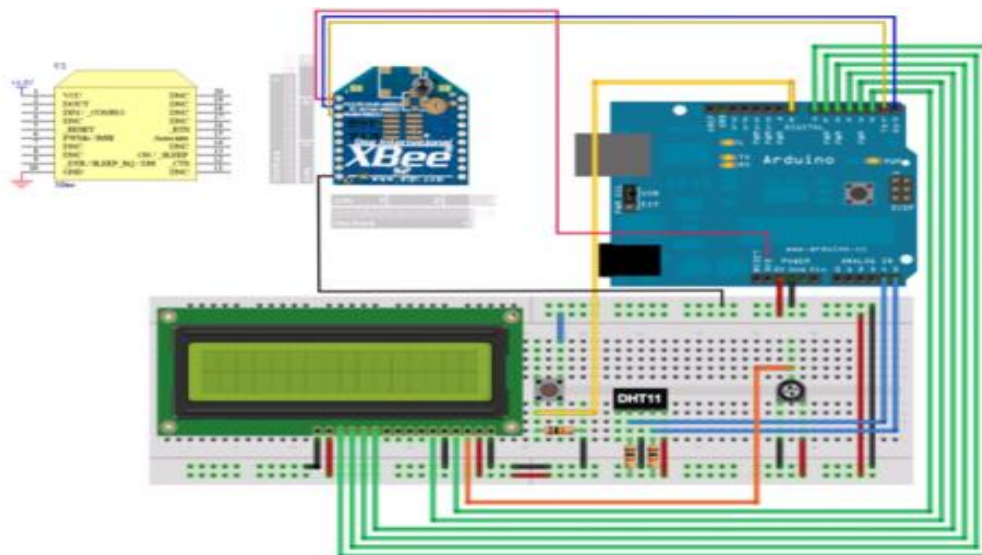


Figura 11. Esquema de conexión prototipo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.4.4 X-Bee

Este módulo de comunicación RF bidireccional ZigBee, será el encargado de dar conectividad inalámbrica entre los nodos de la red, su función principal es el transporte de la información adquirida por los sensores, dispuestos en las estaciones de monitoreo y terminal base.

Modos de operación:

- **Modo recibir/transmitir:** Se encuentra en estos modos cuando al módulo le llega algún paquete RF a través de la antena(modos Receive) o cuando se manda información serial al buffer del pin 3 (UART Data in) que luego será transmitida (modo Transmit).

La información transmitida puede ser Directa o Indirecta. En el modo directo la información se envía inmediatamente a la dirección de destino. En el modo Indirecto la información es retenida durante un período de tiempo y es enviada sólo cuando la dirección de destino la solicita.
- **Modo bajo consumo (sleep mode):** El modo de sueño hace posible que el módulo RF entre en un modo de bajo consumo de energía cuando no se encuentra en uso.

Para poder entrar en modo de sueño, se debe cumplir una de las siguientes condiciones: Sleep_RQ (pin 9) está en alto y el módulo está en pin sleep mode (SM= 1,2 o 5) El módulo está en reposo (no hay transmisión ni recepción de datos) por la cantidad de tiempo definido por ST (Time before Sleep). [ST sólo está activado cuando SM=4,5]

La configuración de los ciclos de sueño se realiza principalmente con el comando SM. Por defecto, los modos de sueños están deshabilitados (SM=0), permaneciendo el módulo en estado de reposo/recepción. En este estado el módulo está siempre preparado para responder a un comando, ya sea, por el puerto serial o la interfaz RF.
- **Modo de sueño controlado por pin:**
- **pin de hibernación** Este modo minimiza el consumo de energía cuando el módulo se encuentra en reposo. Este modo se habilita cuando Sleep_RQ (pin 9) está en alto, el módulo terminará cualquier transmisión, recepción o procedimientos de asociación,

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cuando se baja el estado lógico de Sleep_RQ (pin 9) el módulo saldrá del modo de sueño y estará listo para recibir o enviar datos.

- Pin doze: Este modo funciona de la misma forma que el modo Pin de Hibernación, sin embargo, Pin Doze presenta un tiempo de activación menor y mayor consumo de energía.
- Modo de sueño cíclico:
- Sueño cíclico remoto (sm=4): El modo de sueño cíclico remoto permite que el módulo revise la data por la interfaz RF periódicamente. Cuando el parámetro SM es seteado a 4, el módulo se configura para efectuar ciclos de sueño, luego, despierta una vez por ciclo para revisar si existen datos en el coordinador de sueño de la red (SM = 0, CE = 1). El módulo remoto, envía esta solicitud al coordinador a intervalos de tiempo determinados por el parámetro ST (Periodo de dormido). El coordinador transmitirá los datos que se puedan encontrar en su buffer de salida al módulo remoto una vez recibida la solicitud de datos.
- Sueño cíclico remoto y pin para despertar (sm=5): Este modo se utiliza para despertar un módulo remoto, ya sea por la interfaz RF o por poner en estado bajo el pin Sleep_RQ utilizado para comunicación orientada a eventos. El sueño cíclico funciona de la misma forma que el modo de sueño cíclico remoto con la funcionalidad extra de poder despertar el módulo utilizando un pin.
- Coordinador de sueño: El coordinador acepta mensajes a un módulo específico con direcciones de 16 o 64 bit y los mantiene en su buffer interno hasta que los módulos remotos despiertan y solicitan datos al coordinador. El parámetro SP del coordinador debe ser seteado con el mismo valor que los módulos remotos, para que se pueda producir la comunicación entre los ciclos de sueño.

El prototipo trabajara en modo recibir/transmitir debido a que se conformara una red de dos estaciones y una terminal base; donde se estarán enviando paquetes de datos para hacer las pruebas de funcionamiento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A continuación se describen dos tipos de comunicación que se pueden efectuar con ZigBee, AT y API, esta última es la que se está utilizando en el proyecto, no está demás mencionar el modo AT por si, se hace necesario utilizarlo para algún tipo de implementación.

Tipos de comunicación de los módulos X-Bee:

- El modo transparente en la cual se comporta como un "cable wireless" el puerto serie puede ser transmitido como si de un cable se tratara. Esta es la forma sencilla donde se puede conectar dos dispositivos manipulando su velocidad, es decir, si la aplicación trabaja a 19.200 baudios se debe programar esta velocidad a los XBee.
- API: Esta es un poco más compleja, se trata de utilizar la API que incorpora el microcontrolador de cada módulo XBee. En esta modalidad se puede generar una red de módulos XBee, se puede programar un XBee para que trabaje como repetidor de señal (hub) además de otras funciones que permiten a los desarrolladores tener ventajas en los protocolos de comunicación. Uno de ellos muy interesante es que el modulo que opera como emisor/receptor identifica si el modulo con el que desea establecer comunicación está disponible o no, generando una comunicación bidireccional.

Para enviar un mensaje de un dispositivo a otro se construye la trama API, teniendo en cuenta los parámetros indicados que permitan el ensamblaje de la trama de forma adecuada para envío y recepción. Todas las tramas API contienen un comando que identifica el tipo de trama y la respuesta que genera, identificando el nombre de la trama y la respuesta de esta. El módulo ZigBee de MaxStream soporta los siguientes frame:

Frame de información RF transmitida.

Frame de comandos (equivalente a comandos AT).

Mientras que un Frame de Recepción de Información incluye:

Frame de información RF recibida.

Comando de respuesta.

Notificaciones de eventos como Reset, Associate, Disassociate

Entre las posibilidades que permite la API, es la posibilidad de cambiar parámetros a través de Comandos AT, enviándolos al módulo de destino. Así, desde un módulo, es posible configurar Otro utilizando el modo API. También es posible consultar sobre el estado de algún parámetro en Otro módulo. Además se puede consultar sobre el estado del módem, como saber si está asociado a un coordinador, o si el módulo es o no un coordinador.

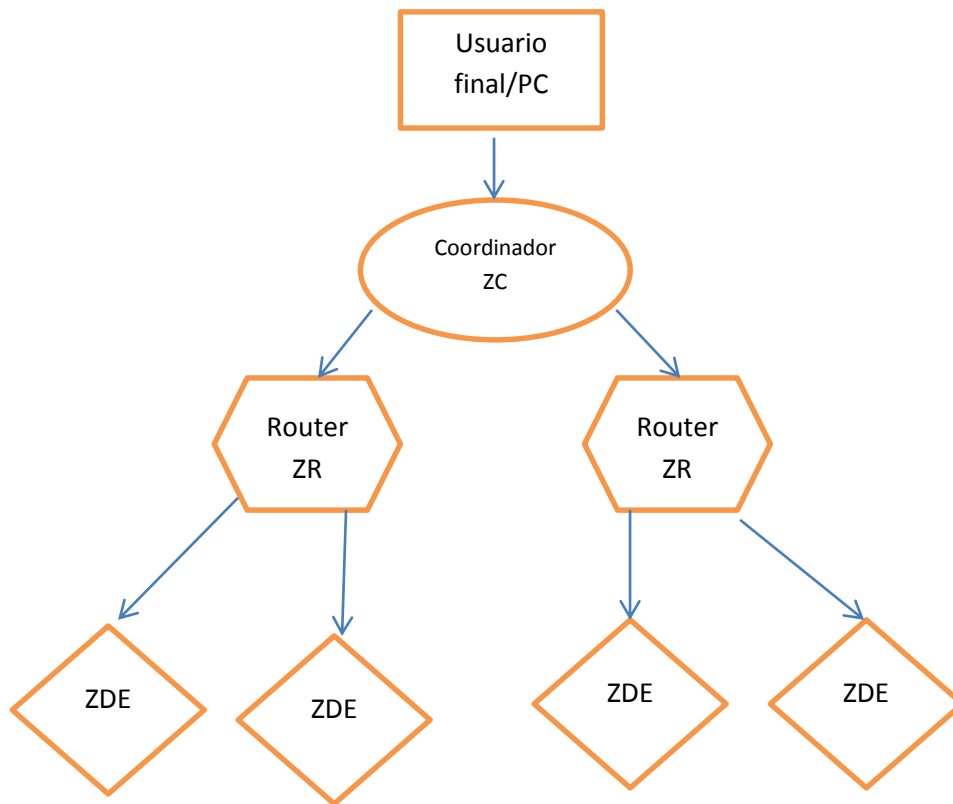


Figura 12. Diagrama de constitución de la red

Seguidamente se procedió al montaje de las dos estaciones de entrada, haciendo uso de diferentes componentes electrónicos, como display Lcd 16x2, regulador de voltaje de 5v a 3.3v, resistencias, capacitores, sensores, pulsador para activación manual de la señal, led, board o galleta y los módulos Xbee etc.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

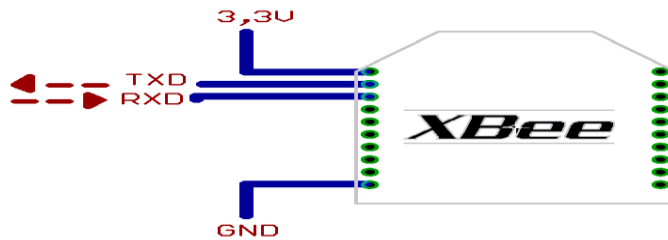


Figura 13. Conexión señales módulos Xbee

Tomada: Guía de usuario Xbee

En la figura 13. Se observa como debe ser la conexión de los módulos Xbee en el circuito las señales txd con el pin dos, rxd con el pin 3, la alimentación de 3.3v con el pin uno y la tierra con el pin diez, adicionalmente van otros componentes conformando la estación de entrada.

Luego de definir los módulos X-Bee, de 2.4GHz como parte integral del prototipo, se procede hacer su respectiva programación, haciendo uso de la plataforma X-CTU de digi para Windows, para dicha programación se debe usar una base de programación para Xbee que está conectada vía USB al pc; donde se encuentra el software allí se modificaron parámetros básicos necesarios para establecer el enlace entre los módulos o nodos de la red.

3.4.5 La interfaz X-CTU

Es un software diseñado para configurar los módulos XBee y sólo está disponible en Windows. Existen dos tipos de comunicación, serial y USB que pueden ser utilizadas para programar los módulos XBee; este software permite programar de una forma rápida todos los parámetros que se quieran modificar en los módulos. En la Figura 14. Se puede observar la ventana del software X-CTU, con la cual se programan los módulos XBee y XBee PRO, basta con hacer clic sobre cualquiera de los parámetros para introducir el valor deseado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

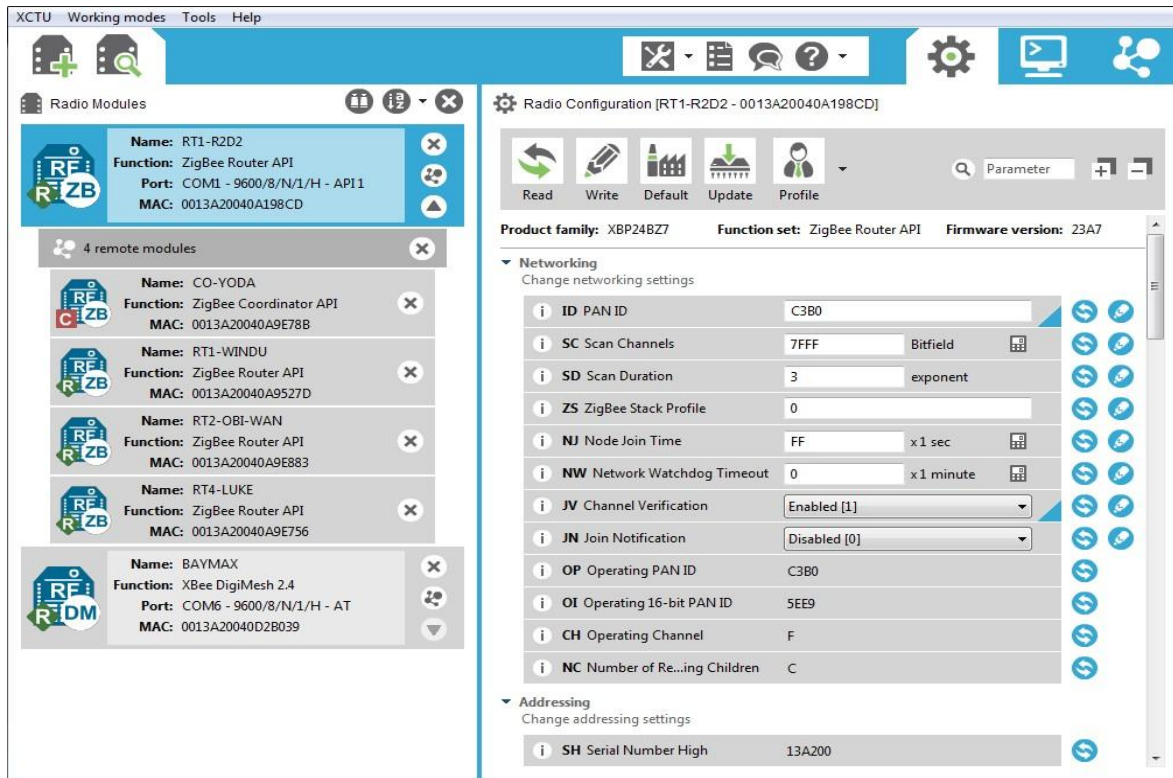


Figura 14. Pantalla principal X-CTU.

- el modo de operación (coordinador o router), haciendo la salvedad de que siempre debe haber un coordinador en la red
- PAN ID (identificación de red de área personal)
- SH(numero serial por alto)
- SL(numero serial por bajo)
- DH(dirección destino por alto)
- DL(dirección destino por bajo)
- CH(canal)

Acto seguido se crea en la plataforma LabView el programa encargado de procesamiento de las señales utilizando lenguaje de bloques creando un clúster de arreglos.

3.4.6 Interfaz LabView

Es un entorno de desarrollo diseñado específicamente para acelerar la productividad de ingenieros y científicos. Con lenguaje de programación gráfica, utiliza un flujo de datos en lugar de líneas secuenciales de código de texto, lo que le permite crear un código funcional utilizando un diseño visual que se asemeja a un proceso de pensamiento, para crear y codificar sistemas de ingeniería. Ayuda a reducir tiempos de prueba, está diseñado para incorporarse con otro software, ya sea métodos alternativos de desarrollo o plataformas de fuente abiertas. (www.ni.com)

Es un entorno de desarrollo gráfico con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentación, análisis de medidas y presentación de datos, es mucho más sencillo que los entornos tradicionales, posee una sintaxis gráfica para medición, control y automatización, tiene funciones específicas para acelerar el desarrollo de aplicaciones (A.M Lázaro, J. Pelegri- 2007).

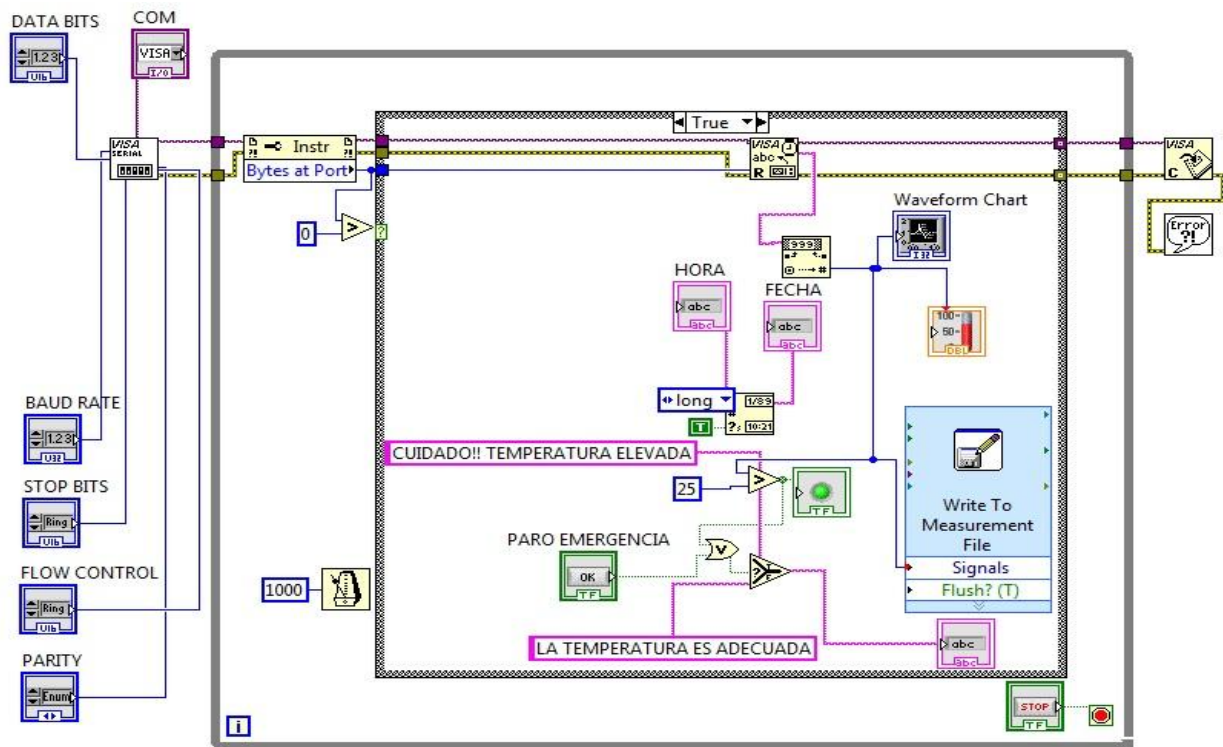


Figura 15. Entorno y programación en LabView

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se utilizan elementos o bloques como:

- Data bits (bits de datos): es el número de bits de los datos entrantes.
- Baud bits (tasa de baudios): es la velocidad de transmisión.
- Stop bits (bits de parada): especifica el número de bits de parada utilizados para indicar el final de una trama.
- Flow control (control de flujo): establece el tipo de control utilizado por el mecanismo de transferencia.
- Parity (paridad): especifica la paridad utilizada para cada trama que se transmite o se recibe.
- Com: Puerto serial de comunicación VISA especifica el recurso que se abrió. El control VISA nombre de recurso también especifica la sesión y la clase.
- Fecha: es un tipo de dato de cadena de caracteres donde se inserta la fecha.
- Hora: es un tipo de dato de cadena de caracteres donde se inserta la hora.

Entre otros elementos que constituyen todo el programa, allí viaja la información adquirida por el sistema, y visualizada en un aplicativo desarrollado en VISA la cual es una herramienta del entorno LabView; en el que se encuentra: fecha, hora, tipo de evento (variable X, u activación manual), puerto de comunicación, tasa de baudios, etc. Y una ventana donde se crea un gráfico del monitoreo de la variable temperatura en este caso, como se observa en la figura 13.

Luego se crea una base de datos, con el fin de generar un histórico de la ocurrencia de sucesos, dicha base de datos se desarrolló con la herramienta Microsoft Access, del paquete de office de Microsoft que viene en el sistema operativo Windows, así se logra crear una tabla donde se contiene toda la información como fecha, hora, tipo de emergencia, esto se creó con el fin de tener un respaldo sobre la ocurrencia de un evento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

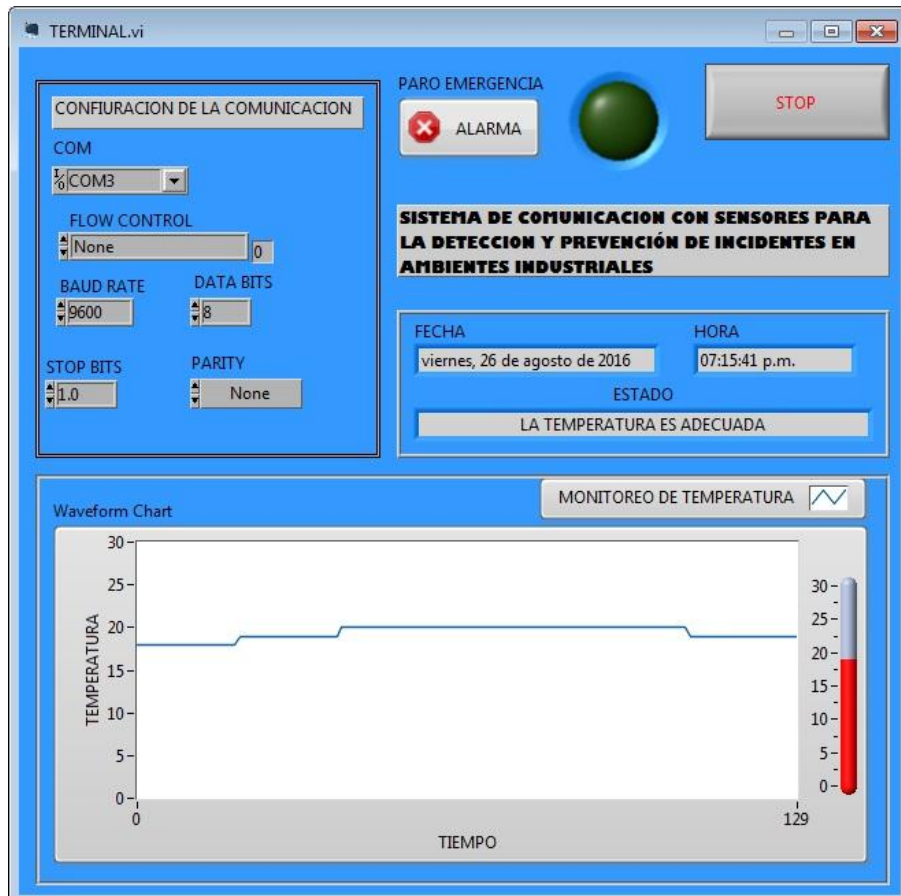


Figura 16. Entorno de visualización terminal receptora

Este es el aplicativo donde se puede observar la información del sistema de monitoreo, creado en la herramienta visa, cuenta con diferentes ventanas que contienen información del monitoreo que se está ejerciendo a la variable en este caso temperatura. Indicación de activación de alarma cuando sobrepasa el set point (punto fijo) que se determinó como valor de activación y de emergencia, también la fecha, hora y estado del sensado de la variable, se cuenta con un cuadro de configuración de la comunicación donde se halla el puerto serial (COM), la tasa de baudios (rate baud), que es el número de unidades de señal por segundo, en este caso el prototipo trabaja a 9600. Los bits de datos (data bits), que son 8, así se establece la comunicación con las estaciones emisoras; esos son los aspectos más relevantes dentro del aplicativo.

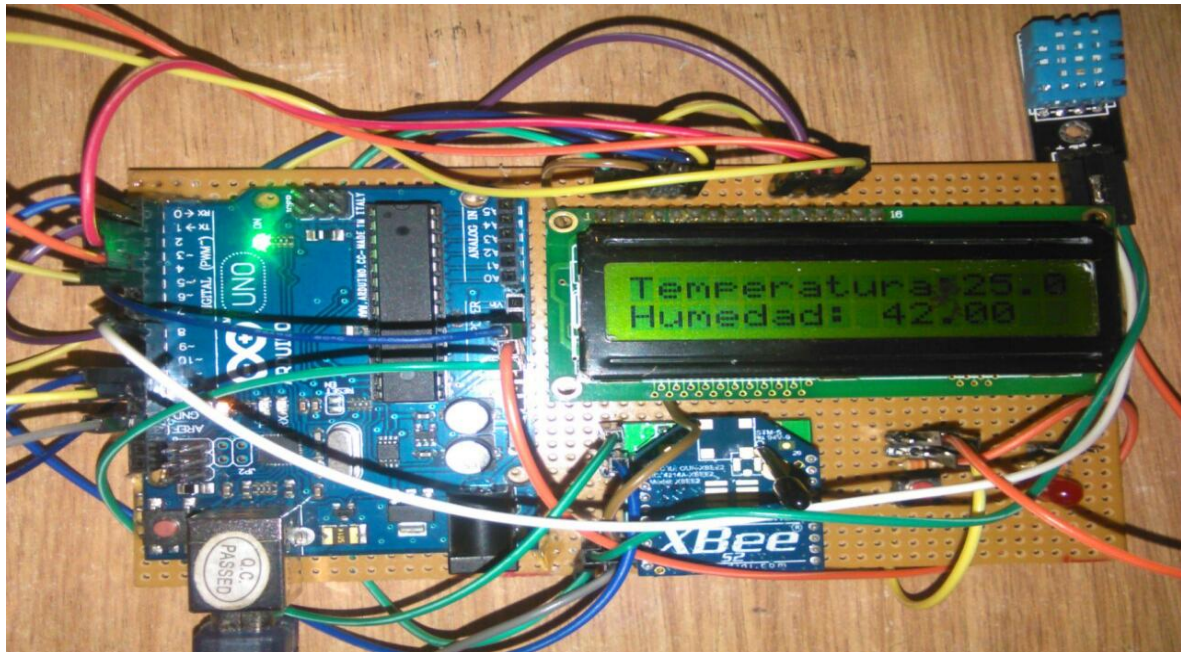


Figura 17. Prototipo estaciones de entrada

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Arquitectura de la red

Inicialmente se tiene la unidad de sensado compuesta por el sensor de temperatura-humedad DHT11 ubicado en la parte exterior de una de las calderas de la compañía, específicamente en el atomizador de gas, donde se genera la combustión y hay mayor acumulación de temperatura. Y es el elemento principal donde se puede generar un escape y por ende una emergencia. Este es el encargado de la adquisición de los datos; con un tiempo de muestreo 10 a 15 segundos máximos, con una tasa de error de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, creando una trama de 8bits por cada grado medido, y con una capacidad de medir hasta 50°C . Proporciona una salida digital la cual está conectada al pin 3 del módulo X-Bee.

También se agregó una unidad de comunicaciones que consiste en un circuito RF de corto rango encargado de transmitir y recibir los datos. Comandado por los módulos X-Bee S2; de 2.4GHz, con un alcance de 130m línea de vista, bajo la tecnología ZigBee, para el desempeño óptimo de la comunicación inalámbrico se hace necesario establecer el enlace, utilizando la herramienta X-CTU, donde se encuentran dos opciones de pruebas, como son la relación señal a ruido y el alcance entre los módulos, para ello se establece una conexión a una velocidad de 19200 baudios, con bit de parada 0, para lograr desarrollar estas pruebas y comprobar su veracidad, se recurre a la teoría de radio enlace y cálculos.

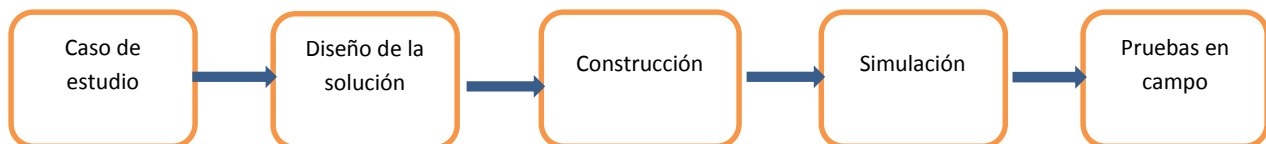


Diagrama de bloques algoritmo implementado

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2 Potencia de salida

La potencia de salida de un transmisor de RF es una medida de la intensidad de energía de RF que este puede entregar a una carga (una antena). Se expresa en watts, pero es, más manejable en dBm o decibelios, el concepto de dBm da una idea de que tan útil es aumentar la potencia de salida de un transmisor. Este dado por la siguiente formula. (Capriles, S. (2009)).

$$Pt (dBw) = 10 \log (W) = dBw$$

$$Pt (dBm) = 10 \log + 30 = dBm$$

(1)

4.3 Atenuación en espacio libre

Cuando una onda se propaga en el espacio o en el aire, se esparce sobre una superficie cada vez mayor a medida que se aleja del transmisor. La potencia que se puede apreciar en el receptor, disminuye con el cuadrado de la distancia del transmisor. A esto se le denomina (perdida de espacio libre FSL). (Capriles, S. (2009)).

$$Lbf = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \text{ dB}$$

(2)

Dónde:

Lbf: perdida de transmisión en el espacio libre (dB)

d: distancia

λ : longitud de onda ($\lambda = \frac{c}{f}$)

d y λ se expresan en las mismas unidades

La ecuación (2) también se puede expresar en términos de la frecuencia en vez de la longitud de onda plana

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d \quad \text{dB}$$

(3)

Dónde:

f : frecuencia en (MHz)

d : distancia en (Km)

4.5 potencia recibida

$$P_r = P_t - L_{bf}$$

(4)

4.5 Cálculo de distancia entre nodos

De la teoría electromagnética es sabido que la potencia de la señal disminuye con el cuadrado de la distancia según lo indica la ecuación de Friis para transmisión en el espacio Libre (C. A. Balanis (2005)). Sin embargo, existen ecuaciones para el parámetro RSSI basadas en datos empíricos (Oguejiofor 2013)) que establecen que la pérdida de propagación de la señal recibida por un nodo a una distancia d_i del nodo transmisor es:

$$P_L(d_i)[dB] = P_L(d_0)[dB] + 10n \log_{10} \frac{d_i}{d_0}$$

(4)

Donde $P_L(d_0)$ es la pérdida de propagación a una distancia de referencia conocida d_0 (generalmente $d_0=1m$). n es una constante que depende del medio y de los obstáculos que existan entre los nodos. En el espacio libre $n=2$, sin embargo, en un entorno real la propagación

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de la señal se ve afectada por fenómenos de reflexión, difracción y dispersión debido a los obstáculos del entorno, por lo que debe ser medida empíricamente.

(V. Nahuel, P. German).

$$n = \frac{P_L(d_i) - P_L(d_0)}{10 \log_{10} \frac{d_i}{d_0}}$$

(5)

Uno de los parámetros que el protocolo ZigBee dispone es el indicador de potencia de señal recibida o RSSI (received signal strength indicator), que es una escala de referencia utilizado para medir la potencia en la antena del módulo receptor asociado al último paquete de información recibido (V. Nahuel, P. German).

$$d = 10^{-\frac{RSSI - A}{10n}}$$

(6)

Donde n es la constante de pérdida que depende del medio y los obstáculos que existen entre los nodos, en espacio libre n=2, d es la distancia entre el transmisor y receptor en metros, A es el valor de RSSI en la antena de una receptora a una distancia de 1 metro del transmisor.

Con lo expuesto anteriormente, se procede a realizar el análisis de la comunicación entre nodos en campo, haciendo uso de las instalaciones ubicando la terminal base en la oficina de montajes y mantenimiento de la compañía, y las terminales en zona de generación vapor (calderas), donde los nodos están expuestos a diferentes factores que dificultan la comunicación como:

- Atenuación
- Distorsión
- Absorción

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Reflexión

Perdida en espacio libre

Ruido

Absorción atmosférica

Multitrayecto

Refracción

Campo electromagnético

Maquinaria industrial

Material	Ejemplo	Interferencia
Madera	Tabiques	Baja
Vidrio	Ventanas	Baja
Amianto	Techos	Baja
Yeso	Paredes interiores	Baja
Ladrillo	Paredes interiores y exteriores	Media
Hojas	Arboles y plantas	Media
Agua	Lluvia / Nebla	Alta
Cerámica	Tejas	Alta
Papel	Rollos de papel	Alta
Vidrio con alto contenido en plomo	Ventanas	Alta
Metal	Vigas, armarios	Muy Alta

Figura 18. Tipos de interferencia por absorción para diferentes materiales

Tomada: de pérdidas de inserción en diferentes materiales y arboles (2013)

Se realizaron pruebas de potencia de transmisión (dBm) a diferentes distancias, los resultados obtenidos, se compararon con los datos teóricos de la siguiente manera.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.4 resultados y comparativa

Se realizaron pruebas de comunicación, en un ambiente industrial y en campo abierto 100 m, con el fin de hacer un análisis y comparar que afectaciones se sufren en un ambiente industrial a causa de los factores mencionados anteriormente, la red queda constituida de la siguiente manera

- Topología: estrella debido a que es un prototipo en desarrollo con dos estaciones o nodos y una terminal base, cuando se desee implementar esta solución con un número mayor de nodos se debe utilizar otro tipo de topología, sea árbol o malla
- Enrutamiento: multisalto, gracias a su baja latencia y bajo consumo de energía, su alcance es menor a los 100m
- Operación: recibir/transmitir, punto a punto
- Dispositivos: un coordinador y dos router
- Suministro de energía: 120V energía regulada, con reguladores de voltaje a 5v y 3.3v
- Corriente: en funcionamiento 30ma en funcionamiento, 3ma en reposo
- Frecuencia: 2.4GHz
- velocidad de trabajo: 19200 baudios, con bit de parada en 0, con un delay de 1segundo entre la señal del sensor y la terminal base
- Trama: de 50 caracteres alfanuméricos, esta información se crea en una trama NMEA
- Paquetes: 10 paquetes de envío por cada distancia medida entre el nodo y la terminal base.

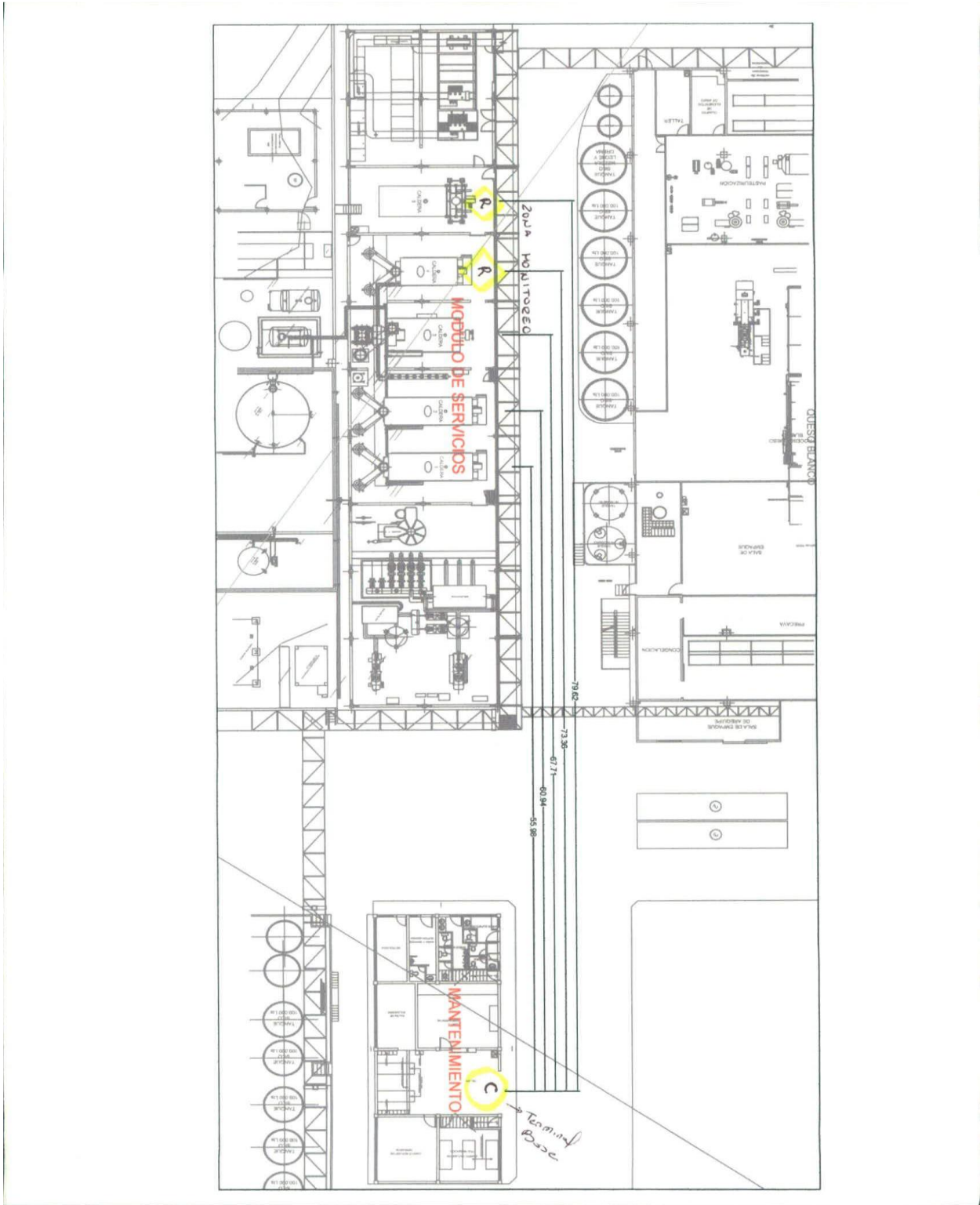


Figura 19. Plano elevado de planta industrial, con ubicación de los puntos de monitoreo

Potencia de transmisión nodo 1

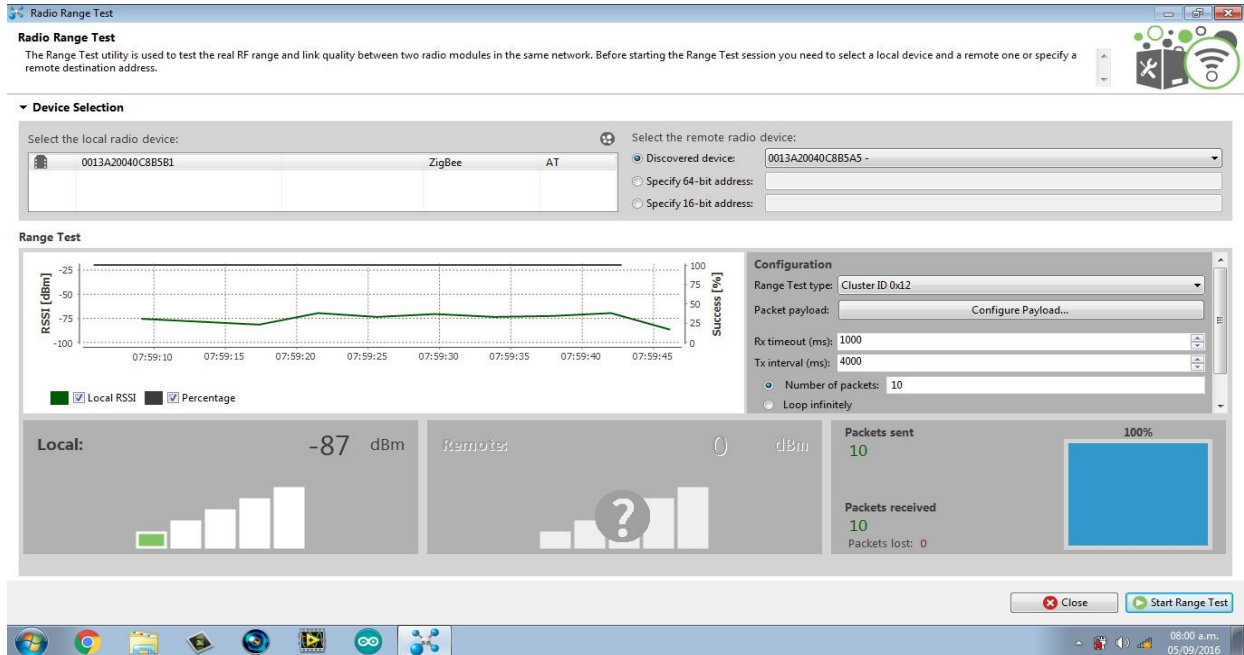


Figura 20. Análisis de potencia RSSI en interfaz XCTU en un ambiente industrial

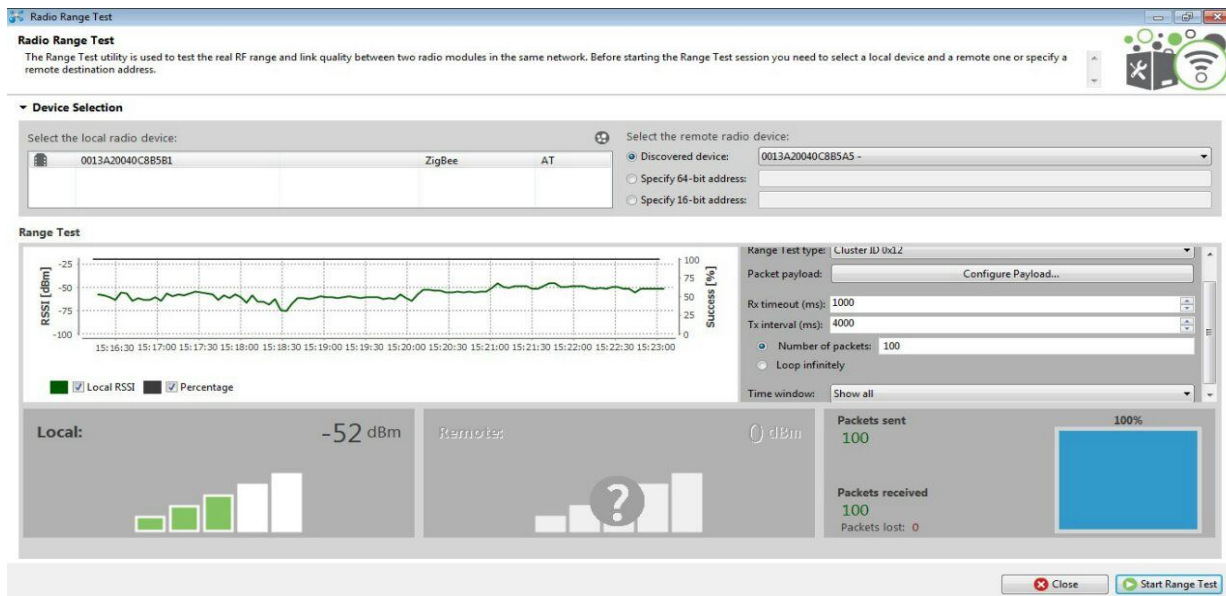


Figura 21. Análisis de potencia RSSI en interfaz XCTU en campo abierto

Tabla 5. Datos recopilados en un ambiente industrial distancia VS RSSI

DISTANCIA (m)	RSSI (dBm)									
	1	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-42
5	-55	-74	-64	-58	-52	-52	-61	-69	-57	-56
10	-54	-61	-64	-62	-70	-65	-62	-61	-60	-64
15	-57	-65	-52	-53	-51	-55	-53	-51	-68	-56
20	-59	-59	-61	-63	-60	-61	-61	-58	-57	-52
25	-59	-58	-60	-63	-66	-69	-62	-64	-72	-68
30	-60	-61	61	-58	-59	-61	-65	-75	-61	-67
35	-68	-62	-63	-74	-82	-69	-62	-67	-66	-69
40	-60	-59	-61	-63	-62	-64	-59	-60	-60	-65
45	-62	-65	-65	-64	-78	-74	-65	-64	-65	-67
50	-69	-65	-60	-64	-75	-67	-64	-65	-71	62
80	-76	-79	-82	-70	-74	-71	-74	-73	-70	-87
100	-79	-66	-73	-72	-67	-66	-70	-71	-68	-71
130	-90	-89	-88	-91	-91	-93	-90	-85	-90	-87

Tabla 6. Datos recopilados en campo abierto distancia VS RSSI

		DISTANCIA (m)											
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	80	100
RSSI		-49	-61	-66	-73	-72	-81	-77	-73	-84	-80	-87	-95
		-47	-63	-69	-71	-73	-79	-76	-82	-82	-80	-85	-88
		-49	-67	-68	-71	-73	-73	-79	-79	-79	-83	-85	-94
		-50	-62	-65	-70	-73	-74	-78	-80	-82	-83	-87	-90
		-50	-64	-72	-72	-74	-73	-74	-72	-79	-84	-83	-94
		-50	-62	-67	-73	-76	-71	-74	-72	-79	-78	-82	-92
		-49	-58	-65	-72	-75	-73	-75	-84	-83	-81	-82	-87
		-50	-65	-65	-75	-72	-75	-77	-75	-82	-83	-82	-90
		-49	-61	-68	-71	-76	-75	-74	-78	-81	-82	-83	-93
		-50	-62	-65	-72	-75	-71	-74	-83	-79	-84	-89	-92

		DISTANCIA
RSSI	1	-43
		-46
		-48
		-48
		-48
		-50
		-50
		-49
		-46
		-46

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En las figuras 20 y 21 reposan las muestras tomadas a través de la herramienta XCTU, la cual refleja las pérdidas de potencia RSSI (dBm), que sufre el enlace cuando se expone a dos campos de trabajo;

En la tabla 5. Están los resultados en campo industrial con muestras de 10 paquetes por diferentes distancias, Al momento en que se inicia la transmisión se hace necesario ajustar el retardo de la señal, ya que se generó una asincronía entre el dato enviado por el nodo y la terminal base, y no se lograba apreciar la temperatura en el aplicativo.

En la tabla 6. Reposan las 10 muestras de prueba en diferentes distancias, a campo abierto.

Con estos datos se aprecia cómo cambian los valores RSSI a medida que se aumenta la distancia en ambos campos, Los datos arrojados en las pruebas de comunicación del enlace en un ambiente industrial evidencian que a pesar de los fenómenos de reflexión, difracción, dispersión, ruido, interferencia electromagnética, la comunicación fue exitosa, pero la afectación es menor campo abierto, la potencia de transmisión no sufre tanto como en campo industrial, otorgando unos valores más ajustados entre cada medida, y más estabilidad en el enlace, acercando mas esta información al texto guía. En las figuras 22 y 23 se encuentran las gráficas de los datos teóricos VS los prácticos y se aprecia mejor los cambios en las pruebas realizadas.

Figura 22. Comparativa Comportamiento RSSI. Datos teóricos VS datos prácticos

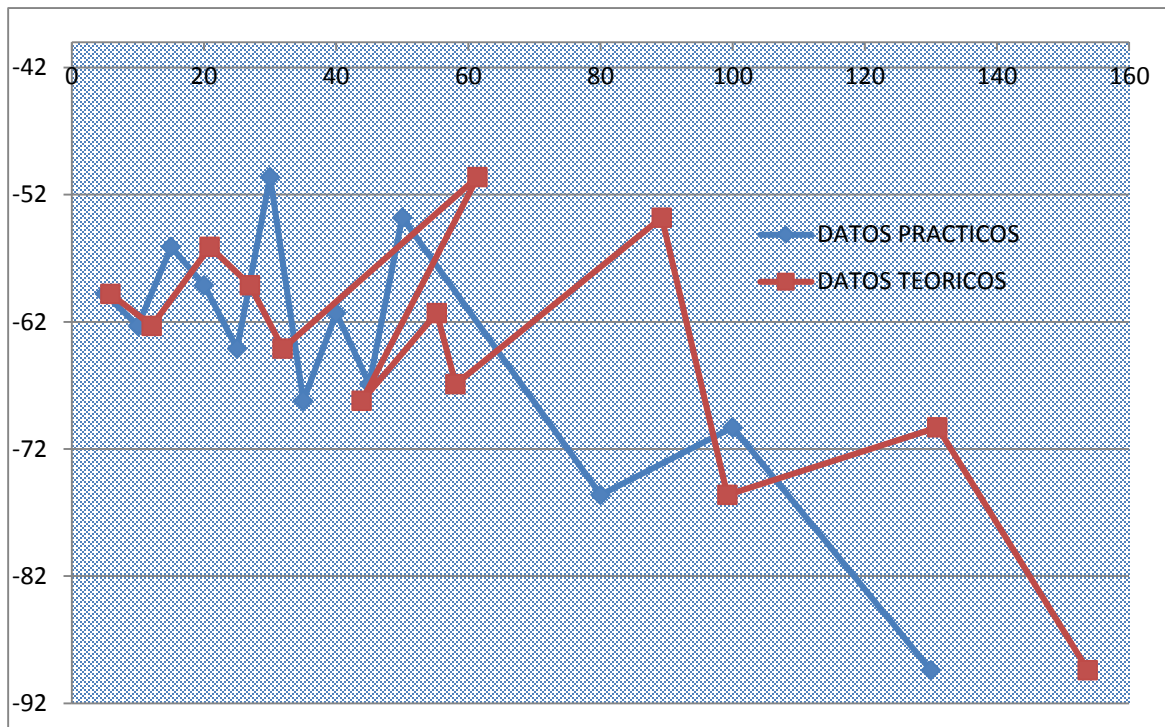


Figura 23. Comparativa Comportamiento RSSI. Datos teóricos VS datos prácticos

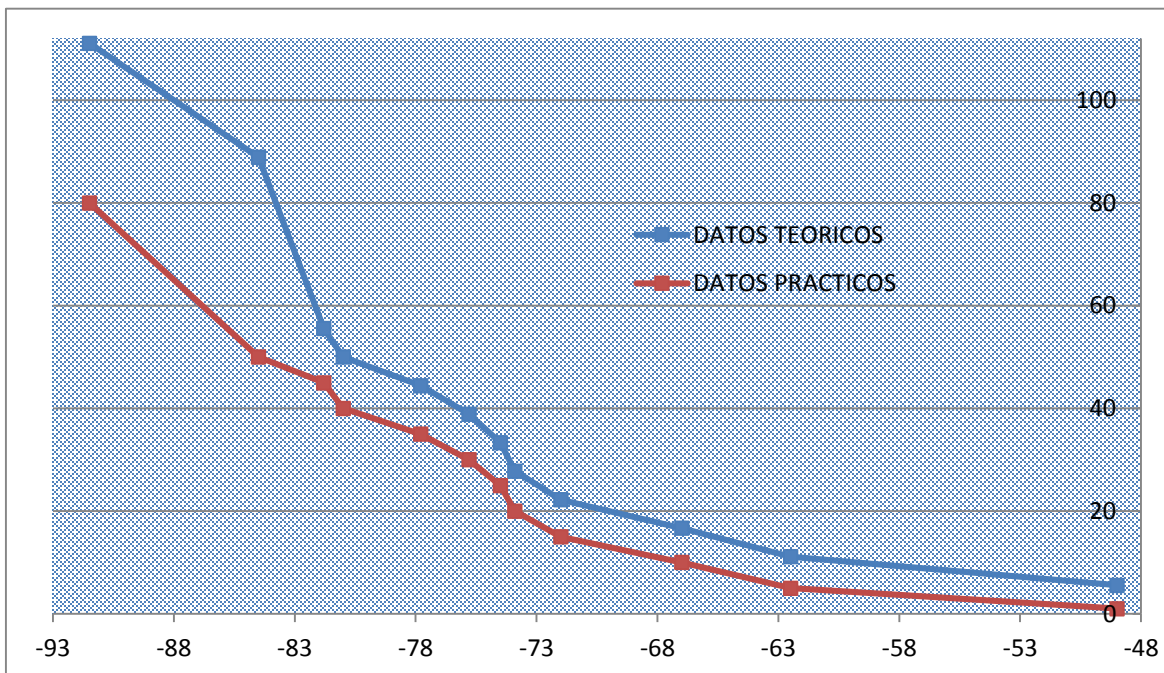


Tabla 7. Promedio RSSI y desviación

distancia	Promedio A. abierto	Promedio A. industrial	Desviación
5	-49	-47	7,3
10	-51	-49	4,1
15	-56	-63	5,9
20	-59	-67	3,0
25	-60	-72	4,6
30	-63	-74	39,5
35	-68	-75	6,1
40	-61	-76	2,1
45	-67	-78	5,0
50	-54	-81	40,9
80	-76	-82	5,6
100	-70	-85	3,9
130	-89	-92	2,3

En la tabla 7. Se hace uso de la estadística para sacar la media aritmética de los valores RSSI (dBm), de los dos ambientes utilizados en las pruebas, y la desviación que tiene una frente a la otra, y se aprecia que hay mayor afectación en la potencia de transmisión en el ambiente industrial, que en campo abierto, esto con el fin de corroborar la información que la señal se afecta por los diferentes fenómenos a la que se expone el enlace.

Tabla 8. Comparativa datos ambiente normal VS ambiente industrial

RSSI	A	n	Distancia	RSSI	A	N	DISTANCIA
-49	-41	-0,6	6	-49	-47	-0,3	6
-51	-41	-0,7	12	-63	-47	-1,5	11
-56	-41	-1,1	21	-67	-47	-1,6	17
-59	-41	-1,2	27	-72	-47	-1,9	22
-60	-41	-1,5	32	-74	-47	-1,9	28
-63	-41	-1,9	61	-75	-47	-1,8	33
-68	-41	-1,6	44	-76	-47	-1,8	39
-61	-41	-1,1	55	-78	-47	-1,9	44
-67	-41	-1,4	58	-81	-47	-2,0	50
-54	-41	-2,4	89	-82	-47	-2,0	56
-76	-41	-1,7	99	-85	-47	-1,9	89
-70	-41	-1,4	131	-92	-47	-2,2	111

En la tabla 8. Se tiene el comparativo de los dos ambientes, en la casilla “RSSI”, se tiene el promedio el valor RSSI (dBm), la casilla “A” es el patrón de referencia, el valor RSSI (dBm) a 1 m de distancia, la casilla “n” reposa los resultados de la aplicación de las formula (5) mencionadas anteriormente en este documento, utilizada para conocer el valor de n que es la constante de perdida por el medio y los obstáculos entre nodos, en la casilla “distancia” se encuentra el resultado la formula (6) que es la distancia entre nodos de la red, se aprecia un intervalo de más o menos 5m tal cual fue como se realizaron las pruebas, Se puede concluir que el valor de n se ve claramente más amplio en ambiente industrial por los fenómenos que en este se tienen.

Tabla 9. Perdidas en el espacio libre

LONGITUD DE ONDA			
0,125			
PERDIDAS EN EL MEDIO (ECUACION DE FRISS) (db)			
(4*PI*D)/(Landa)		20*log10((4*PI*D)/(Landa))	
DISTANCIA	5	502,656	54,03
	10	1005,312	60,05
	15	1507,968	63,57
	20	2010,624	66,07
	25	2513,28	68,00
	30	3015,936	69,59
	35	3518,592	70,93
	40	4021,248	72,09
	45	4523,904	73,11
	50	5026,56	74,03
	80	8042,496	78,11
	100	10053,12	80,05

En la Tabla 9. Reposan los resultados de la aplicación de la formula (3) se define que una onda al propagarse por el espacio libre, lo hace sin obstáculos en línea recta y resulta atenuada, los datos de la tabla representan la aplicación de la fórmula de Friss donde se observa el valor en dB que se atenúa la señal a medida que se incrementa la distancia del enlace, es directamente proporcional al aumentar la distancia aumenta la atenuación, para ejecutar la formula (3) se debe saber el valor de lambda que está dada por la velocidad de la luz (c), sobre la frecuencia de trabajo (f).

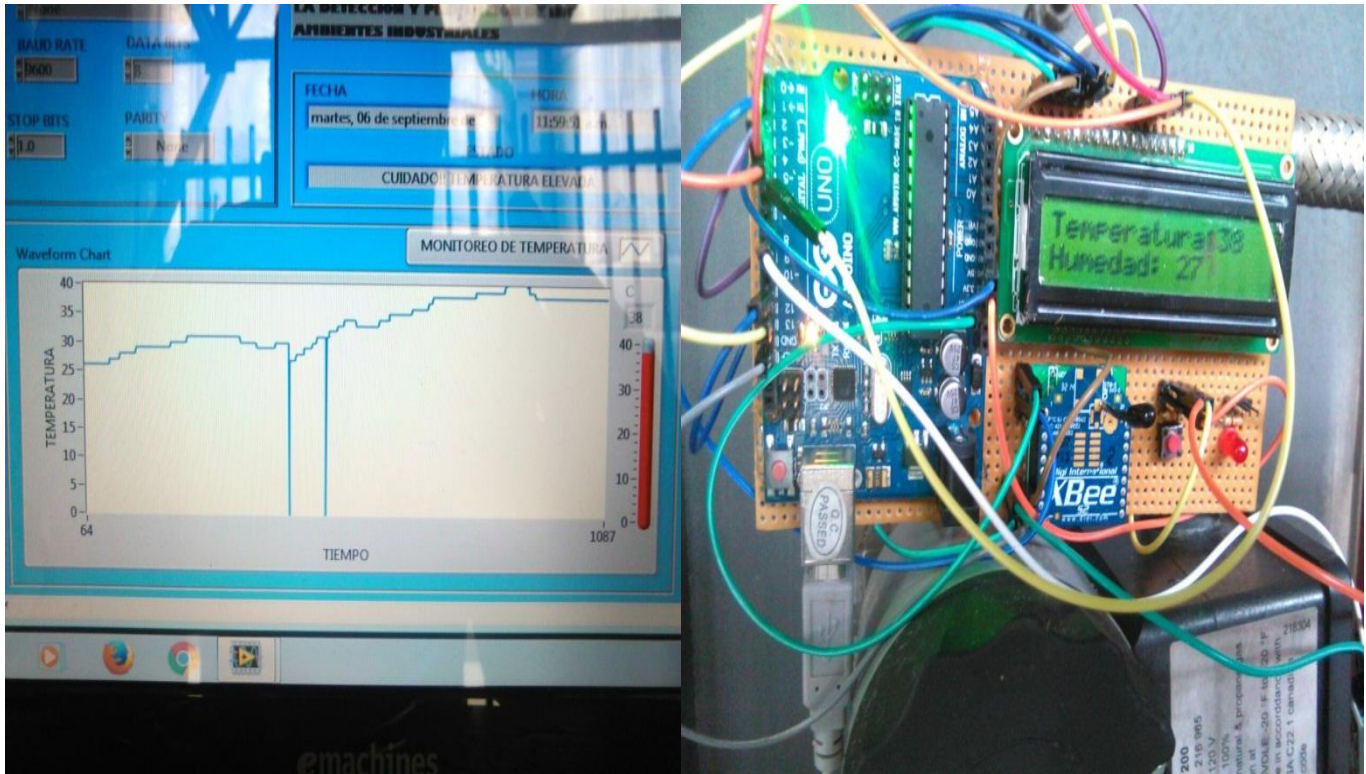
Tabla 10. Resultados potencia Tx y Rx

POTENCIA DE RX (dbm)	POTENCIA DE RX (dbW)	POTENCIA DE TX (dbW)
-49	-79	-1,462274681
-63	-93	-1,540485183
-67	-97	-1,525928774
-72	-102	-1,54389621
-74	-104	-1,527832936
-75	-105	-1,501686147
-76	-106	-1,491666584
-78	-108	-1,495410757
-81	-111	-1,518254599
-82	-112	-1,510292058
-85	-115	-1,465922417
-92	-122	-1,517876892

En la tabla 10. Reposan los datos de la implementación de la formula (3) para hallar la potencia de recepción de la estación base, en este caso se omite las ganancias de las antenas, debido a que estas son incorporadas en los módulos Xbee, la fórmula más conocida incluye esta ganancia cuando son antenas isotrópicas, los datos muestran como aumenta las perdida de la potencia a medida q aumenta la distancia las unidades están dadas en dBw, estas pérdidas se deben a dos condiciones la primera los fenómenos del ambiente y los obstáculos, la segunda porque un receptor es un amplificador y todo amplificador tiene ruido propio. También están los datos de la potencia de transmisión, dada por la formula (1)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 23. Imágenes de pruebas en ambiente industrial, temperatura zona de calderas



En estas imágenes se aprecia el funcionamiento del prototipo y del aplicativo que visualiza la adquisición de los datos, el margen de error es muy sesgado ya que solo hubo $\pm 2^{\circ}\text{C}$ de diferencia y un retardo de 1 segundo entre los paquetes.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- El estudio de redes sin hilos, su funcionamiento y diferentes aplicaciones, otorgo lineamientos y guías q sirvieron para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, En el proceso de esta investigación se logró ampliar los conocimientos frente a las tecnologías inalámbricas, como ZigBee y el estándar de la IEEE 802.15.4 diseñado y estructurado para redes inalámbricas de área personal, logrando conceptualizar el desarrollo de este proyecto y orientándolo como herramienta de uso industrial o doméstico.
- La exploración de un campo totalmente nuevo como lo fue la operación y el lenguaje de programación del microcontrolador atmega, la placa arduino, y los módulos Xbee, llevo a la creación del control y administración de la comunicación, del flujo de la informacion, y del uso y consumo de energía del sistema. consolidando toda la informacion en un sistema operativo, regido por el software LabView que permitió visualizar el monitoreo que se le ejerció a la temperatura de trabajo a las calderas.
- Gracias a las pruebas realizadas y los datos arrojados durante estas, se consiguió resultados muy satisfactorios cómo que a pesar de la afectación que sufre la potencia a diferentes distancias, y los diferentes fenómenos a que está expuesto el enlace, no hay perdida de informacion, y que el consumo de energía es muy bajo, el margen de error de los datos es mínimo, se apreció en el aplicativo un desfase de $\pm 2^{\circ}\text{C}$. en la temperatura, del nodo más lejano a 80m aproximadamente, con relación a la estación base. Así se obtiene un sistema muy útil y eficaz, de fácil implementación.
- Cuando se transmite información de un nodo a otro de una red y la distancia u obstáculos en el camino atenúan demasiado la señal, más potencia en la transmisión no siempre es la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

respuesta más adecuada. Considerando que el uso de energía suele ser uno de los mayores limitantes, en ocasiones es aconsejable no elevar la potencia de transmisión sino colocar nodos intermedios a modo de repetidores creando un camino multi-salto, ya sea para disminuir la distancia entre nodos o para rodear algún obstáculo que se pudiera presentar. La muestra la relación potencia utilizada vs. Distancia para ambos métodos, el de elevar la potencia y el de colocar nodos intermedios apreciándose una diferencia sustancial.

Recomendaciones

- Para que el prototipo sea eficiente se debe hacer una inspección precisa del espacio en el cual se va a implementar, haciendo los cálculos respectivos de ubicación de cada una de las terminales para crear una red eficiente, teniendo presente que cada obstáculo reduce la potencia de la señal. Se puede apoyar en los formulas del proyecto.
- Para obtener mejores ganancias de transmisión se puede reemplazar los módulos Xbee de 2.4Ghz, por módulos Xbee PRO de 900MHz, los cuales cuentan con características más amplias de trabajo como por ejemplo, la distancia de tx que es de 1600m.
- Si la red que se desea implementar tiene muchos nodos la mejor topología a implementar es la de árbol, ya que esta ayuda a transmitir la información realizando saltos de nodo en nodo hasta llegar al destino.
- Para una red más robusta es mejor hacer uso de una base de datos como la que proporciona MySQL, que es una herramienta capaz de almacenar gran cantidad de datos, dirigida a empresas y organismos administrativos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Trabajo futuro

Gracias a las TIC tecnologías de la información y la comunicación se puede hacer uso de diversas herramientas para mejorar el desempeño y operación del sistema de monitoreo una de ellas podría ser el Appserv ya que es una herramienta OpenSource (código abierto), para Windows con Apache, MySQL, PHP, entre otras, permitiendo ejecutar un servidor web completo, con esto se ganaría tener el aplicativo 100% montado en la nube, visualizado en tiempo real si se quisiera, con acceso desde cualquier equipo de cómputo con internet, una base de datos más sólida y robusta si se desea tener un flujo de información muy elevado o una red con muchos nodos, comunicación bidireccional y archivos compartidos dentro de la red corporativa.

Otra podría ser el desarrollo del aplicativo para Smartphone, donde se visualice los datos adquiridos por el sistema, el comportamiento y la ocurrencia de algún evento o emergencia.

Módulos Xbee PRO con alcance de 1600 m, los cuales generarían un ahorro sustancial en nodos de la red e inversión.

Otro enfoque que se le puede dar al sistema desarrollado es un sistema de emergencia o alarma para una empresa, añadiendo pulsadores o botoneras de activación manual, conectadas a las estaciones de entrada y a su vez activando salidas tanto luminosas como sonoras (lámparas de emergencia, sirenas, etc.). Distribuida en zonas como comúnmente se denominan o en lenguaje de comunicaciones nodos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Hidalgo, R., Moreno, J. I., (2011). Routing Design in Wireless Sensor Networks and a Solution for Healthcare Environments. *IEEE Latín América transactions*. 9(3). 1-7.
- Tello, J. P., Manjarrés O., Quijano, M., Blanco, A., Varona, F., & Manrique, N. (2013). Remote monitoring system of ECG and body temperature signals. *IEEE Latin America transactions*. 11(1). 1-5.
- Jiménez, F.J., Lara, F.R., Redel, M.D., (2014). API for communication between LabView and arduino Uno, *IEEE Latin America transactions*, 12 (6), 1-6.
- Iacono, L., Godoy, P., Marianetti, O., García, C., (2010). Estudio de plataformas de hardware empleadas en redes de sensores inalámbricas, *instituto universitario para las tecnologías y comunicaciones*, 1(10).
- Lajara, J.R., & Pelegri, J., (2007). *LabView Entorno grafico de programación*. España: marcombo s.a.
- Balanis, C. A., (2005). *Antenna theory, Analisis and Design, Wiley-Interciencia*, 3º Ed, Cap 2, p. 94.
- Lau E., Lee, B., Lee, S., & Chung, W. (02, 06, 2008). Enhanced RSSI-Based high accuracy real-time User Location tracking system for indoor and outdoor environments. *International Journal On Smart Sensing And Intelligent System*, Vol. 1, No.2, 534-548.
- Vara, N., Poletto, G. A., Cáceres, M., Busso A. J., (). *Calculo de distancia entre los nodos de una red inalámbrica ZigBee en función del parámetro RSSI*. Extensionismo, Innovación y trasferencia tecnológica, claves para el desarrollo, Vol 2, Grupo de energías renovables, FaCENA-UNNE.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Giron, A. (2012). *Desarrollo e implementación de una red de sensores ZigBee mediante el dispositivo Xbee de Digi*. Universidad de Rovira y Virgili, Tarragona, España.
- Aguirre, L., (2009). *Estudio de una red de sensores sin hilos basada en la tecnología Arduino bajo protocolos de comunicaciones ZigBee*. Universidad politécnica de Cataluña, Cataluña, España.
- Valdiviezo, D. (2009). *Diseño de una red de sensores inalámbrica para agricultura de precisión*. Universidad pontificia católica del Perú. Lima, Perú.
- Vera, C. A., Barbosa, J. E., & Pabón, D. C. (2015, julio-septiembre). Parámetros de configuración de módulos XBEE PRO S2B ZB para mediciones de variables ambientales. *Tecnura*. (19). 23. Doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a11
- Figueroa, J. Comunicaciones inalámbricas módulo de radiofrecuencia versión OEM XBEE. *Club de robótica de la ESPEL*, 1-93. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/58980339/Teoria-y-Programacion-Modulos-XBEE>
- Oyarce, A. (2010). Guía de usuario Xbee Series 1. *Ingeniería MCI*. 14-56. Recuperado de http://www.hmangas.com/Electronica/Datasheets/Shield%20XBee%20Arduino/XBee-Guia_Usuuario.pdf
- Moreno, J. & Fernández, D. (2007). Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4). Documento sin publicar.
- Caprile, S. (2009). Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos ZigBee y 802.15.4. (esquibis).
- ZigBee Alliance. (2014). *ZigBee 3.0 Creates Single Open, Global Wireless Standard for Devices*. San ramón California. Recuperado de <http://www.zigbee.org/zigbee-3-0-creates-single-open-global-wireless-standard-for-devices>
- Grayeb, S., Alberto, J., (2008). *Microcontroladores*. Arquitectura de computadores. Blog spot
- Cabello, F., *teoría y aplicación de la informática 2*. Universidad católica.
-

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- XBee.cl ¿QUE ES XBEE? Recuperado de <http://xbee.cl/que-es-xbee>
- Prometec. (2015). *Sensores de temperatura DHT11*. Sensor de temperatura y humedad. Recuperado de <http://www.prometec.net/sensores-dht11/>
- Raspberry. (2014). *Que es el Raspberry pi*. Recuperado de <http://www.frambuesapi.co/que-es-el-raspberry-pi/>
- Atmel. (2105). Datasheet. Atmega 48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P. Atmel corporation. 50p

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE

Apéndice A: programación en lenguaje C, estaciones de entrada

Estación:

```
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(11, 12, 2, 3, 4, 5);
```

```
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 8
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(9600);
```

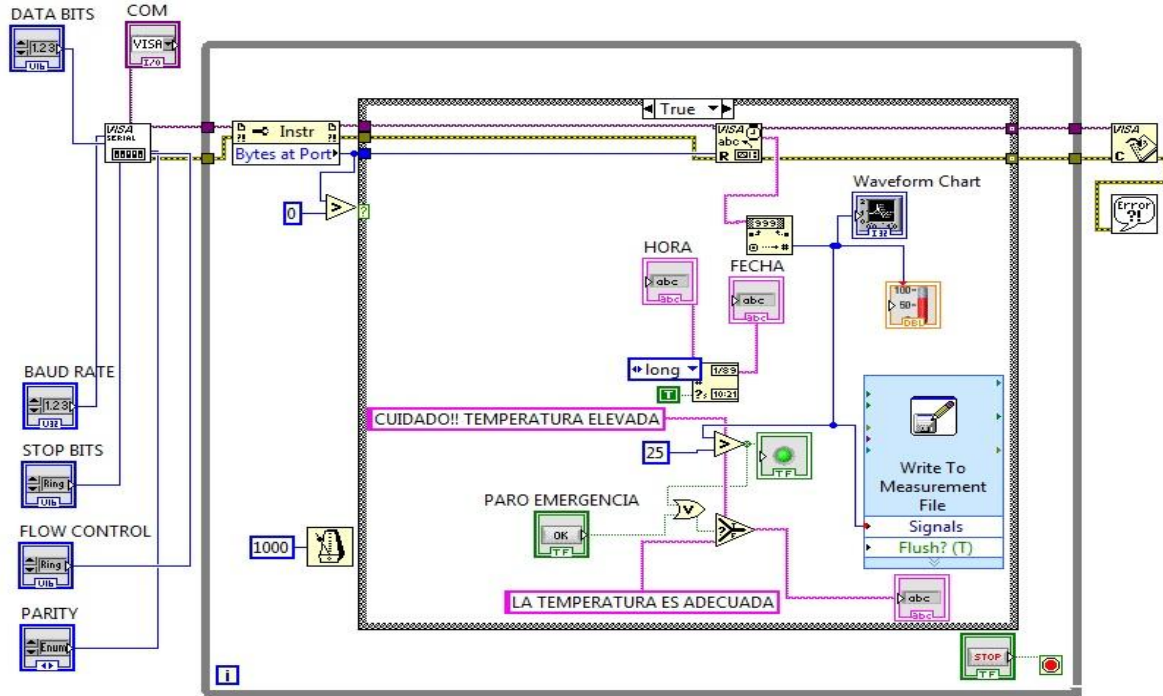
```
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" Sistema de");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" Monitoreo");
  delay(1000);
  lcd.clear();
```

```
}
```

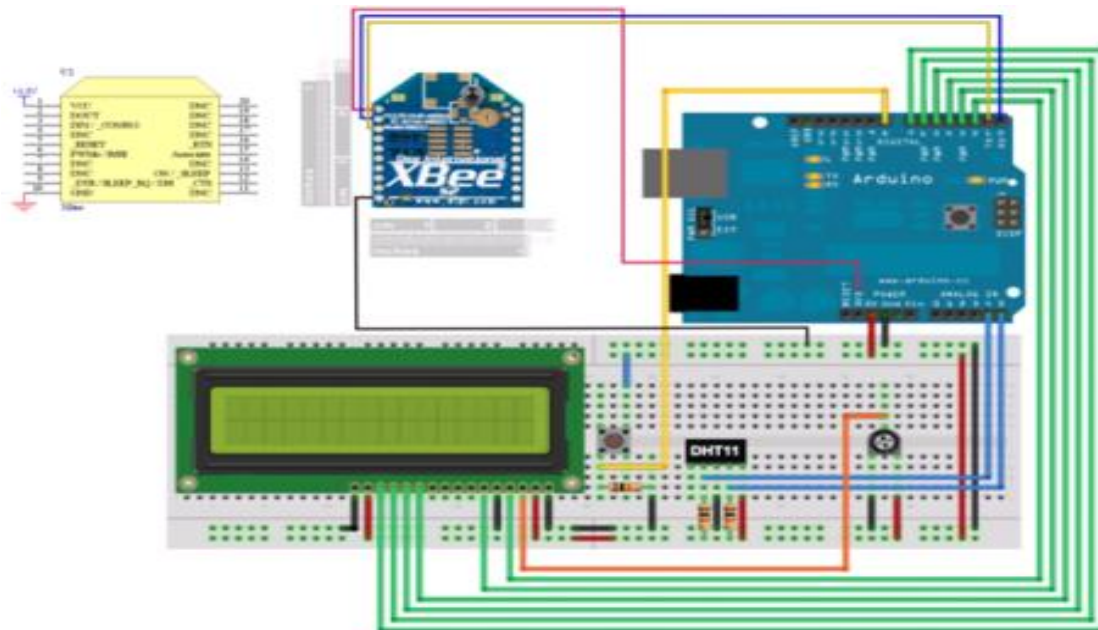
```
void loop() {
```

```
  int h = dht.readHumidity();
  int t = dht.readTemperature();
  String dato = String(t,DEC);
  Serial.println(t);
  delay(500);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Temperatura:");
  lcd.print(t);
```


Apéndice C: programación lenguaje grafico LabView



Apéndice D: Diagrama de circuito



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Cristian Leonor Becerra

FIRMA ASESOR [Signature]

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22