

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

# **DESARROLLO DE APLICATIVO MÓVIL QUE PERMITA CONTROLAR EL PROTOCOLO ZIGBEE DESDE DISPOSITIVOS ANDROID PARA EJECUTAR TAREAS ESPECÍFICAS**

JUAN DAVID RESTREPO AGUILAR

LINA MARCELA BOHORQUEZ CORO

Ingeniería de Telecomunicaciones

Director del trabajo de grado:  
M. Sc. ERICK REYES VERA

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**MEDELLÍN**

**2016**

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

## RESUMEN

---

Este proyecto tiene como fin abordar el protocolo ZigBee y su implementación tecnológica en los sistemas de comunicación inalámbrica en la actualidad; ello, en aras de generar una plataforma teórica que facilite crear aplicaciones móviles para dispositivos Android, que a su vez puedan desempeñar múltiples funciones: conectar el protocolo ZigBee con el protocolo serial Bluetooth, controlarlos a través de lenguaje ensamblador en microcontroladores Arduino, para finalmente monitorear sensores desde el sistema operativo Android.

Para ello, como primera instancia, se hace una explicación exhaustiva de lo que es el protocolo ZigBee, su funcionamiento, estructura, la posición que tiene en la actualidad y cuál es su futuro como sistema de protocolos, que sugiere un bajo costo en su utilización y supone una renovación completa de los sistemas inalámbricos hoy en día. Posteriormente, se abordan algunas investigaciones realizadas sobre el mismo tema y el desarrollo de aplicativos móviles para el funcionamiento inalámbrico de sensores, esto con el fin de generar una postura propia para el proyecto. Finalmente, la propuesta metodológica va encaminada al desarrollo del aplicativo, buscando dar respuesta a los cuestionamientos sobre el pertinente desarrollo del aplicativo.

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

## RECONOCIMIENTOS

---

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda nos han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al Profesor Erick Reyes Vera, director del trabajo de grado, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos meses.

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

## ACRÓNIMOS

---

En esta sección se listan los acrónimos, siglas, símbolos y abreviaturas propias, no halladas en diccionarios, que son utilizados en la escritura del reporte técnico. Deben incluirse como una lista sin viñetas, por ejemplo:

*AES* Estándar de cifrado avanzado

*WPAN* Red de área personal inalámbrica

*OSI* Interconexión de sistemas abiertos

*UART* Universal asíncrono receptor / transmisor

*RF* Frecuencia de radio

*SPI* Interfaz de proveedor de servicios

*ZED* Directorio de correo electrónico

*FCS* Secuencia de verificación de trama

*MTU* Unidad de transferencia máxima

*MAC* Control de acceso medio

*ACK* Reconocimiento

*RX* Recepción de datos

*TX* Transmisión de datos

*LDR* Impulsado oyente de Radio

*MCU* Unidad de control multipunto

*MW* Datos en la memoria

*DIGI* Digital

*DH* Dirección de destino de alto

*DL* Dirección de destino bajo

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

*AT* Dispositivo final

*VCC* Vertical conexión cruzada

*PWM* Modulación de ancho de pulso

*ADC* Conversor analógico a digital

*DAC* Conversión digital a análogo

*RC* Compilador de recursos

*APK* Android paquete de aplicaciones de archivos

*APP* Aplicación

*QR* Respuesta rápida

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

# TABLA DE CONTENIDO

---

RESUMEN.....	
RECONOCIMIENTOS .....	
ACRÓNIMOS .....	
TABLA DE CONTENIDO.....	
LISTA DE FIGURAS.....	
1. INTRODUCCIÓN .....	
1.1. Objetivo General .....	
1.2. Objetivos Específicos.....	
1.3. Estado del Arte .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	1
2.1. Marco Conceptual .....	1
2.2. Tramas ZigBee .....	1
2.2.1. ZigBee en la actualidad.....	1
2.3. Planteamiento del Problema .....	2
3. METODOLOGÍA.....	2
3.1. Diseño de Red en Protocolo ZigBee .....	2
3.1.1. Hardware empleado.....	2
3.1.2. Configuración de nodos de red .....	2
3.2. Programación del Sensor Ultrasónico .....	2
3.2.1. Programación .....	2
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	3
4.1. Programación del Módulo Receptor .....	3
4.1.1. Modulación PWM.....	3

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

4.1.2. Codificación en Arduino .....	3
4.1.3. Filtro RC para PWM .....	3
4.2. Programación del Módulo Bluetooth.....	3
4.2.1. Desarrollo de la Aplicación Móvil en Android.....	3
4.2.3. Calibración del Sensor .....	3
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	4
6. REFERENCIAS.....	4

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1. Topologías ZigBee.....	14
Figura 2. Estructura a nivel físico y de la capa MAC de una trama de datos Zigbee.....	16
Figura 3. Trama de reconocimiento (ACK) .....	17
Figura 4. Trama de comando MAC.....	17
Figura 5. Trama piloto en ZigBee .....	18
Figura 6. Módulo Xbee Pro Serie 2.....	21
Figura 7. Módulo Xbee Explorer mini USB .....	22
Figura 8. Placa Xbee shield conectada .....	22
Figura 9. Software X-CTU: Interfaz de usuario principal .....	23
Figura 10. Sensor de distancia ultrasónico HC-SR04.....	23
Figura 11. Microcontroladores Arduino Mega y Arduino UNO .....	23
Figura 12. Conexión sensor HC-SR04 a microcontrolador Arduino .....	27
Figura 13. Código fuente microcontrolador transmisor .....	29
Figura 14. Modulación de ancho de pulso .....	31
Figura 15. Código fuente microcontrolador receptor .....	32
Figura 16. Circuito filtro para PWM; salida analógica filtrada. ....	33
Figura 17. Conexión entre Arduino MEGA y módulo Bluetooth HC-06 .....	34
Figura 18. Código fuente microcontrolador con Bluetooth.....	35
Figura 19. Interfaz gráfica de la aplicación móvil diseñada .....	36
Figura 20. Interfaz gráfica de la aplicación móvil diseñada .....	37

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

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. Objetivo General

Desarrollar una aplicación móvil de Android que permita la conexión, monitorización y control del protocolo ZigBee para desempeñar funciones de telecomunicación con la misma, generando un constante flujo de información de forma inalámbrica.

## 1.2. Objetivos Específicos

- Implementar el sistema Arduino y Bluetooth para permitir el correcto funcionamiento del sistema inalámbrico ZigBee desde el dispositivo Android
- Crear una red de sensores que permita desde la aplicación móvil de Android, desempeñar funciones de comunicación para ejecutar tareas domóticas y de telecomunicación.
- Desarrollar el aplicativo móvil desde su apariencia y diseño estético, con el fin de generar un manejo más fácil de ella y fácil entendimiento.

En la actualidad múltiples plataformas inalámbricas están en el mercado desempeñando funciones de control y manejo, tales como el Wi-Fi, Bluetooth, entre otros, estas suponen un alto grado de transferencia de datos que permiten desempeñar funciones más grandes y viables para el beneficio de las personas.

Este proyecto investigativo tiene como función eso, crear una manera estratégica de utilizar el protocolo ZigBee, para implementar su utilización en beneficio de la comunidad. Actualmente casi que la totalidad de las personas tienen a su mano un dispositivo móvil inteligente con sistema operativo de Android, esta cualidad da la oportunidad de desarrollar una herramienta, aplicación, que permita generar una plataforma para realizar transferencia de datos y decodificación en función de desempeñar tareas tanto domóticas como de telecomunicación para las personas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se inicia por contextualizar las tecnologías a utilizar dentro de un marco teórico, a saber: el protocolo ZigBee y su código de entramado, el protocolo Bluetooth, los objetos del lenguaje operativo Android y los parámetros microcontrolador Arduino. Luego, se describe la metodología del *hardware* empleado, explicando la configuración de los nodos de red, el filtrado de las señales análogas, la programación del sensor y su consecuente calibración por el método estadístico de regresión lineal. Ello, para describir los algoritmos finales y exponer los resultados obtenidos. Finalmente, se concluye con base a los resultados obtenidos y se dan recomendaciones a los profesionales en telecomunicaciones, para que puedan optimizar la interacción de estos protocolos en trabajos futuros.

La función de un profesional al desempeñar este tipo de proyectos es, además del crecimiento personal y en conocimiento, es brindar la oportunidad de crear un sistema innovador para el uso de los demás, generando nuevas perspectivas sobre la tecnología y haciendo la vida de las personas mucho más fácil de vivir, pensando en función de su bienestar.

### 1.3. Estado del Arte

**Publicaciones científicas recientes.** En el mundo de las telecomunicaciones en la actualidad, el progreso tecnológico ha permitido que los profesionales en este campo, desarrollen proyectos orientados a la implementación de sistemas inalámbricos en función de crear herramientas domóticas e interactivas a través del uso de sistemas digitales. A continuación, se evidencian algunos proyectos que se han enfocado en este tipo de investigaciones implementando la tecnología ZigBee:

**Desarrollo e implementación de una red inalámbrica de sensores de temperatura y humedad** (Iraceburu González & Goicoechea Fernández, 2014). En este proyecto se plantea del desarrollo e implementación de una red inalámbrica de sensores de temperatura y humedad, teniendo en cuenta diferentes opciones en el mercado para los elementos constituyentes de la red, realizando montajes, experimentos, pruebas de error iniciando desde el modelo más simple hasta el final. Esta tesis, investiga, analiza y propone varios sistemas inalámbricos que hay en la actualidad entre ellos ZigBee, con el fin de saber cuál implementar en su desarrollo, lo que se relaciona al presente proyecto, que busca establecer el funcionamiento de esta tecnología con el sistema operativo de Android, siendo un referente en cuanto a investigación en telecomunicaciones

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Red de sensores auto-configurable mediante tecnologías ZigBee y Arduino con monitorización por aplicación Android (Montesinos Navarro, 2013).** Esta tesis investigativa propone el diseño e implementación de una red inalámbrica de temperatura y luz que pueda ser auto-reconfigurable al variar la disponibilidad de los nodos que la componen, estos están formados por placas de Arduino que se comunican mediante el uso de la tecnología ZigBee. La información que se recopila es enviada a un nodo capaz de transmitirla vía Bluetooth a un dispositivo Android, donde con una aplicación diseñada se puede monitorizar la red. Este trabajo se relaciona directamente con el actual proyecto, ya que se implementa la tecnología inalámbrica ZigBee para ser programada y utilizada vía Bluetooth desde un dispositivo móvil, el prototipo diseñado en este trabajo, no solo ejemplifica el uso de la utilización del software y hardware para desarrollar el sistema de sensores, sino que también hace énfasis en el uso de la implementación de sistemas operativos móviles para el uso de tecnologías inalámbricas, lo que dispone un gran referente de trabajo.

**Aplicación móvil para comunicación inalámbrica de señales audiovisuales (Pérez, 2013).** Este proyecto tiene como objetivo diseñar una aplicación móvil de Android conectada a un módulo Arduino, con el fin de transmitir archivos audiovisuales inalámbricamente, donde el sistema contara con la aplicación Android jugando el rol de cliente y el módulo Arduino de servidor. Este proyecto es referente de estudio porque abarca la temática de las tecnologías inalámbricas, usando Android y el módulo Arduino con el fin de transmitir información a través de ello, durante el proceso de desarrollo de la tesis se estudia el sistema ZigBee como protocolo de transmisión inalámbrica de información, que se convierte en base para el estudio propio.

**Análisis del Protocolo ZigBee (Dignani, 2011).** Esta investigación, hace un abordaje exhaustivo del protocolo ZigBee haciendo un rastreo de todos sus componentes, y el contexto en el que funciona, se compara con otros sistemas inalámbricos, etc. allí se hace descripción detallada de todo lo que concierne con ZigBee ubicándolo en el plano de las herramientas de protocolo inalámbrico por excelencia. El estudio de este documento se convierte en fuente importante para analizar el protocolo ZigBee a cabalidad, identificando todas sus características, componentes y la función que cumple en el ámbito de la transmisión de información inalámbrica, convirtiéndose en la actualidad en uno de los sistemas tecnológicos por excelencia para realizar labores de domótica y funciones inalámbricas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1. Marco Conceptual

**¿Qué es ZigBee?** ZigBee es un protocolo de comunicación inalámbrica creado bajo los estándares IEEE 802.15.4, estándar que regula el nivel físico y el acceso al medio, de redes inalámbricas de área personal, con bajas tasas de transmisión de datos, “Este estándar se utiliza primordialmente para aplicaciones domóticas donde es mínima la capacidad de transferencia de información y el costo y consumo tienen un papel fundamental” (Electrocomponentes S.A., 2016). Según el portal El Androide Libre, “ZigBee es un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación que se utiliza para la radiodifusión digital de datos buscando ahorrar lo máximo posible en energía” (Gutierrez, 2015).

Esta tecnología, tiene como función principal realizar funciones en el hogar tales como controlar la calefacción, iluminación, sistemas de seguridad, entre otros; pero su proyección es que pueda ser aplicado en muchos productos tales como juguetes, periféricos de pc, componentes electrónicos, sistemas de control automático, medicina, etc. Según el trabajo de Marla Glen y Julián moreno “ZigBee es un sistema ideal para redes domóticas, específicamente diseñado para reemplazar la proliferación de sensores/actuadores individuales. ZigBee fue creado para cubrir la necesidad del mercado de un sistema a bajo coste, un estándar para redes Wireless de pequeños paquetes de información, bajo consumo, seguro y fiable” (Glen M. & Moreno, 2012).

**Ventajas y desventajas de ZigBee.** Las principales ventajas de ZigBee radican en su sencillez y bajo costo de producción de los dispositivos que usan la tecnología, es mucho más sencillo que la producción de objetos con Bluetooth. Según datos, “se requiere un 10% del hardware total necesario para producir un dispositivo con Bluetooth” (Gutierrez, 2015), mientras que con ZigBee se requiere un 2% del total, lo que supone un ahorro considerable para las empresas. Marla Glen y

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Julián Moreno, explican las siguientes ventajas y desventajas de ZigBee:

**Ventajas:**

- Ideal para conexiones punto a punto y punto a multipunto· Diseñado para el direccionamiento de información y el refrescamiento de la red.
- Opera en la banda libre de ISM 2.4 Ghz para conexiones inalámbricas.
- Óptimo para redes de baja tasa de transferencia de datos.
- Alojamiento de 16 bits a 64 bits de dirección extendida.
- Reduce tiempos de espera en el envío y recepción de paquetes.
- Detección de Energía (ED).
- Baja ciclo de trabajo - Proporciona larga duración de la batería.
- Soporte para múltiples topologías de red: Estática, dinámica, estrella y malla.
- Hasta 65.000 nodos en una red.
- 128-bit AES de cifrado - Provee conexiones seguras entre dispositivos.
- Son más baratos y de construcción más sencilla

**Desventajas:**

- La tasa de transferencia es muy baja.
- Solo manipula textos pequeños comparados con otras tecnologías.
- ZigBee trabaja de manera que no puede ser compatible con Bluetooth en todos sus aspectos porque no llegan a tener las mismas tasas de transferencia, ni la misma capacidad de soporte para nodos
- Tiene menor cobertura porque pertenece a redes inalámbricas de tipo WPAN (Glen M. & Moreno, 2012).

**Software y hardware**

El portal web de Electrocomponentes S.A. dice acerca de su composición:

ZigBee posee una arquitectura basada en el modelo OSI. El IEEE 802.15.4 define las dos capas más bajas: la Capa Física y la Subcapa de Control de Acceso al Medio de la Capa de Enlace de Datos, la cual se encarga de aislar los detalles de las tecnologías físicas a la capa de control de acceso al medio. Estas capas son utilizadas por ZigBee para crear un marco de trabajo para las aplicaciones (Electrocomponentes S.A., 2016).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

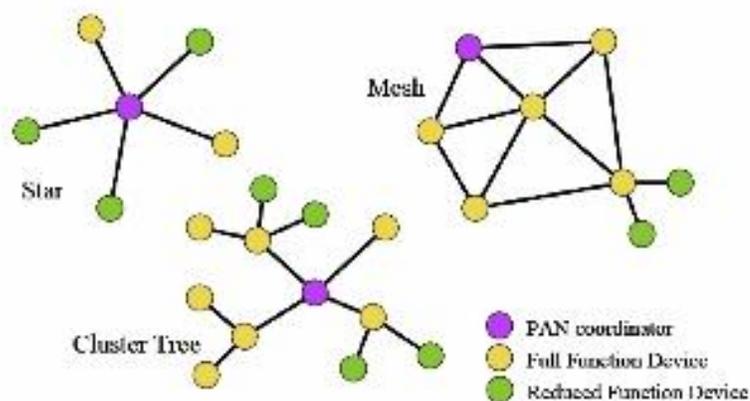
Además, agrega que:

La Capa Física puede trabajar en uno de tres rangos de frecuencias: 868 MHz, 915 MHz o 2.4 GHz con velocidades de hasta 20 Kbps, 40 Kbps y 250 Kbps y cuya utilización de bandas de frecuencias es Europa, JUL y el resto del mundo, respectivamente. Permite alcanzar distancias de hasta 100 metros con muy baja energía, lo que la hace práctica en la mayoría de las aplicaciones domóticas (Electrocomponentes S.A., 2016).

ZigBee, como se menciona anteriormente está diseñado para aprovechar una tecnología de bajo costo, y reducir el consumo energético. Para ello cuenta con un sistema de protocolo para “la comunicación entre balizas o nodos hace que se puedan entender cada miembro de la red. Unos protocolos que ‘despiertan’ al nodo para empezar a transmitir y que luego vuelve a dejar en reposo para ahorrar energía” (Gutierrez, 2015). Esta red tecnológica está compuesta por 3 tipos diferentes de topologías: estrella, maya y árbol. La topología estrella representa una vida útil más larga gracias al bajo consumo que requiere; la topología de maya es aquella donde hay múltiples rutas o vías para alcanzar el destino, permitiendo alta confiabilidad. La de árbol es aquella donde se combinan las otras dos anteriores. Según Gutiérrez:

La más usada es la organización en malla. Lo que quiere decir esta topología, es que un nodo ZigBee puede estar conectado a su vez a otros más de la misma red. De este modo, se asegura la comunicación entre todos los nodos porque siempre habrá un camino para seguir en caso de caída de uno. Claro está, el nodo coordinador es el que dirige el paso de mensajes entre cada nodo de la malla” (Gutierrez, 2015).

Figura 1. Topologías ZigBee



Fuente: (Longares, 2013)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En cuanto a hardware, ZigBee tiene dos placas disponibles; placa ZigBee (ZigBee 1v1.0.) y antena ZigBee (ANT – ZIGBEE), así las define Electrocomponentes S.A:

**Placa ZigBee:** La placa zigbee está basada en un transceptor de radio frecuencia de 2.4GHz de Freescale el MC13192, el cual es manejado por un microcontrolador de Freescale el MC9S08GT32, tiene disponible para el usuario entradas / salidas digitales y analógicas e interfaz I2C y UARTs. Es ideal para aplicaciones de corto alcance de bajo consumo a un costo reducido entre las cuales podemos citar: monitoreo de sensores, control de accesos, sistemas de seguridad, etc.

**Antena ZigBee:** La antena ZigBee se basa en el MC13192 de Freescale. Este es un transceptor de RF compatible con IEEE 802.15.4, que se usa como capa física de las redes ZigBee. La antena integra toda la periferia de la radio y se conecta mediante pines de paso estándar. Se controla por medio de una interfaz serial SPI. Es necesario alimentar la placa con 3,3 volts. Permite combinar una radio ZigBee de 2,4 GHz con microcontroladores de cualquier marca y modelo mediante una interfaz de fácil montaje (Electrocomponentes S.A., 2016). ZigBee cuenta con una serie de dispositivos que permiten su funcionamiento, Marla Glen y Julián Moreno en su trabajo los describen de la siguiente manera:

- **Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC):** El tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos, requiere memoria y capacidad de computación.
- **Router ZigBee (ZigBee Router, ZR):** Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- **Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED):** Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato (Glen M. & Moreno, 2012).

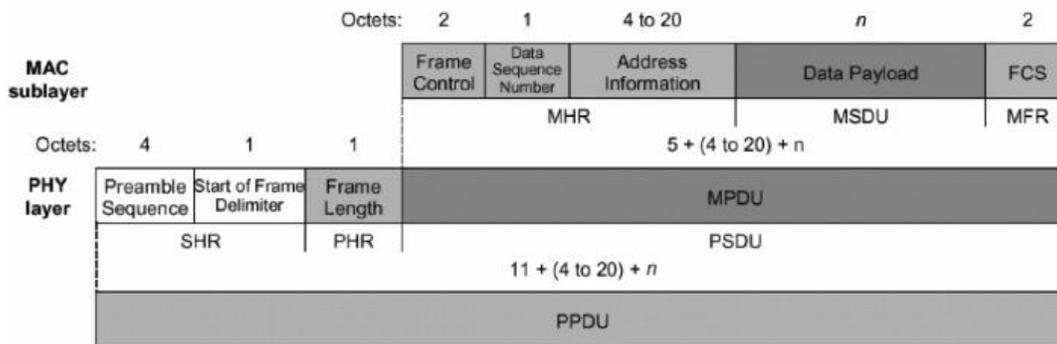
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.2. Tramas ZigBee

ZigBee como se ha mencionado anteriormente es una tecnología a base de protocolos que permite la comunicación inalámbrica de alto nivel con otros dispositivos, en esta tecnología se utilizan tramas de datos donde a través de un integrador se intercambia la información con otros dispositivos. Javier Longares, en su sitio web, explica que existen 4 tipos de tramas definidas por el estándar IEEE 802.15.4, que hacen parte de la arquitectura esencial de zigBee. Según Longares esas tramas son:

**Tramas de Datos:** en estas se permiten hasta 102 bytes como máximo para datos ( $n$ ) $_{MAX}=102$  bytes, se incluyen 2 bytes para verificar la integridad de los datos llamados FCS (Frame Check Sequence) y se incluye un número de secuencia para permitir el re ensamblado y la retransmisión. También se incluyen otros datos, como la dirección dinámica de origen y destino, tipo de mensaje y otros, haciendo que la MTU (Maximum Transfer Unit) efectiva sea de 84 bytes. (Longares, 2013)

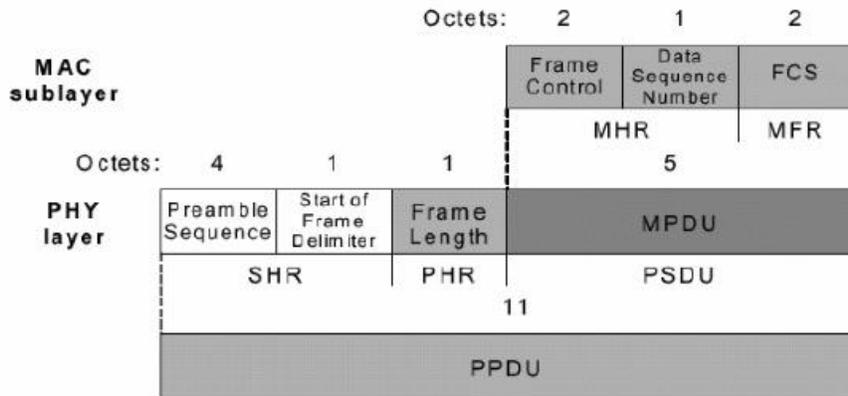
Figura 2. Estructura a nivel físico y de la capa MAC de una trama de datos Zigbee.



Fuente: (Longares, 2013)

**Trama de reconocimiento (ACK):** Esta trama es una función muy importante del MAC pues sirve para confirmar el éxito en la recepción y para validar las tramas de datos y los comandos MAC. Esta trama representa únicamente una realimentación sobre la correcta recepción de datos. Es un pequeño paquete que se envía después de los datos aprovechando el período de silencio especificado por la norma tras una transmisión (Longares, 2013).

Figura 3. Trama de reconocimiento (ACK)

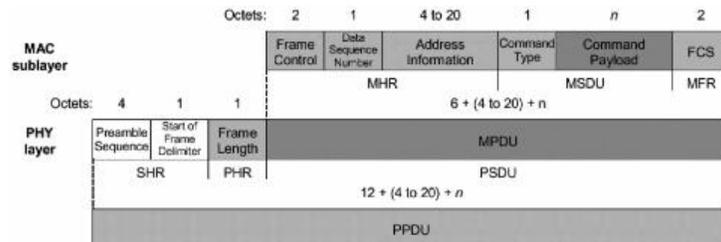


Fuente: (Longares, 2013)

**Trama de comando MAC:** Esta es una trama que permite el control y la configuración de los nodos, así como la formación de la red. Para ello, el estándar contempla 26 directivas para garantizar principalmente las siguientes funciones a nivel físico:

- Activación y desactivación de nodos
- Detección de energía
- Indicación de calidad del enlace
- Detección de actividad del canal
- RX y TX de datos (Longares, 2013)

Figura 4. Trama de comando MAC

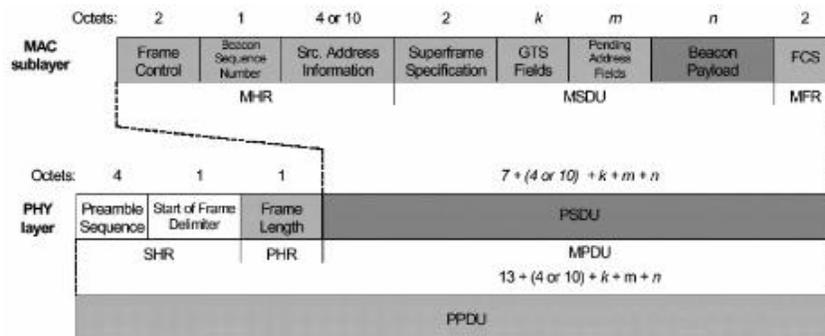


Fuente: (Longares, 2013)

**Tramas piloto:** Sus principales funciones son el direccionar a varios dispositivos para que envíen información, permitir mantener a los nodos sincronizados sin tener que escuchar permanentemente el canal y permitir buscar redes de forma activa y pasiva, usándose por tanto también en el proceso de asociación (Longares, 2013).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 5. Trama piloto en ZigBee



Fuente: (Longares, 2013)

**Programación de ZigBee en Android.** El sistema operativo Android, por su naturaleza de código abierto y su licencia permisiva, hace que el software basado en Android sea libremente creado, modificado y distribuido por cualquier desarrollador, lo que permite tener acceso completo a las herramientas de desarrollo de software para probar y descartar aplicaciones, estas herramientas vienen con emuladores, código de ejemplos, librerías y tutoriales para el desarrollo de las denominadas “apps”.

Existen varios proyectos que buscan programar la tecnología zigBee con Android, permitiendo el control de dicha herramienta desde dispositivos móviles, José Salvador Montesinos Navarro, en su proyecto “Red de sensores auto-configurable mediante tecnologías ZigBee y Arduino con monitorización por aplicación Android”, desarrolla una estructura de hardware configurable desde la creación de una aplicación Android, para controlar todas sus funciones.

Según Montesinos Navarro, “el sistema implementado en el proyecto consiste en una red mallada de nodos que se comunican entre sí mediante la tecnología ZigBee. Consta de doce nodos: un coordinador, cuatro routers y siete terminales, aunque está diseñada para ser escalable hasta sesenta nodos” (Montesinos Navarro, 2013). Además, el sistema consta con una configuración de hardware con componentes como: Placa Arduino Uno, Módulo XBee serie 2, XBee Shield, Sensor de temperatura TMP36, Fotorresistencia LDR, Pila de 9 voltios, y un Módulo Bluetooth JY-MCU, este último permite mantener una comunicación Bluetooth entre éste y el dispositivo Android encargado de la monitorización, además consta de una configuración en el sistema Arduino de la placa XBee y el protocolo de comunicación.

Para la monitorización, se crea una aplicación Android que interactúa a través de Bluetooth con

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

el nodo coordinador. Según Montesinos Navarro “la aplicación solicita al coordinador el envío de los datos de la red que éste tiene almacenados. Una vez recibidos, se procesa e interpreta la información, representando gráficamente el estado de los nodos de la red y de los enlaces existentes entre ellos” (Montesinos Navarro, 2013). Acerca de la comunicación Bluetooth con Android, Montesinos dice:

Debido a que la práctica totalidad de dispositivos Android cuenta con la posibilidad de establecer una comunicación Bluetooth, esta aplicación permite que cualquier *smartphone* o tablet se convierta en herramienta de monitorización de la red de sensores.

Para que la aplicación tenga acceso al módulo Bluetooth del dispositivo, es necesario otorgarle los permisos adecuados. Esta autorización se concede modificando el archivo AndroidManifest. Mediante su edición, se puede conceder a la aplicación autorización para acceder a los distintos recursos del dispositivo, entre otras características. En concreto, se le permite hacer uso del módulo Bluetooth al añadir la siguiente línea:

```
<uses-permission android:name="android.permission.BLUETOOTH" />
```

(Montesinos Navarro, 2013)

Según Montesinos, es necesario que el dispositivo Android y el modulo Bluetooth del nodo coordinador se vinculen mediante la interfaz estándar de Bluetooth y Android, para que, en el momento de inicio de la aplicación, esta pueda encontrar fácilmente el nodo coordinador dentro de la lista de dispositivos Bluetooth vinculados.

### 2.1.1. ZigBee en la actualidad

En la actualidad existen muchos aparatos tecnológicos, con los que se busca establecer una alianza con zigBee con el fin de interconectar todos estos aparatos, entre las principales compañías están Samsung, LG, Logitech, Bosch, entre otros. Según esto Manuel Gutiérrez dice:

ZigBee es una alternativa interesante para la comunicación entre distintos dispositivos que necesiten de un consumo energético reducido. Al contrario que el Bluetooth o el WiFi, ZigBee es una opción a tener en cuenta a la hora de domotizar una casa. Además, el Internet de las Cosas puede recurrir a esta tecnología en lugar de a dispositivos conectados por WiFi (Gutierrez, 2015).

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

El futuro que se espera de ZigBee es que desde un mismo nodo permitir la interconexión sin necesidad de utilizar internet, mantenido un mismo flujo constante de energía, permitiendo domotizar una casa completa desde un Smartphone Android.

### 2.3. Planteamiento del Problema

Existen un sin número de herramientas de protocolo inalámbrico que cumplen funciones para realizar tareas utilizando sistemas de nodos, sensores y red, con el fin de ejecutar tareas específicas. Sin embargo, no hay un enlace directo entre el sistema operativo móvil Android y el protocolo ZigBee, el cuál es necesario en aplicaciones domóticas e industriales.

Entonces, con el fin de encontrar métodos que permitan operar un módulo ZigBee desde un teléfono móvil programable, se requiere agregar *hardware* y transmisión serial; éste será el objeto de estudio del presente proyecto. A raíz de este análisis surge el siguiente interrogante:

¿Cómo conectar el protocolo ZigBee, a través de un microcontrolador Arduino y transmisión Bluetooth, con el sistema operativo Android ejecutando una aplicación móvil?

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

## 3. METODOLOGÍA

---

### 3.1. Diseño de Red en Protocolo ZigBee

A continuación, se describe los dispositivos empleados, así como el proceso de configuración y programación para hacer funcional la red ZigBee.

#### 3.1.1. Hardware empleado

**Xbee Pro Series 2.** El módulo Xbee Pro Series 2 es la segunda generación de dispositivos de la familia Xbee y permite formar redes inalámbricas con muchas más funcionalidades y modos de configuración que la serie 1, características de la serie 2:

- Es compatible sólo con la Serie 2 de la familia.
- Distancia de comunicación poco más larga: 122 metros, línea de vista para el módulo de 1.25 mW y hasta 3.2 Km de línea de vista para el módulo de 60 mW
- Velocidad máxima de transmisión de hasta 1 Mbps
- Poco menor consumo de energía que la Serie 1
- Tiene dos entradas A/D menos y dos E/S digitales más que la serie 1

Figura 6. Módulo Xbee Pro Serie 2



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Xbee Explorer.** El Xbee Explorer es una pequeña pieza de hardware que permite conectar un módulo Xbee, por puerto mini USB, a un computador que tenga instalado el software de configuración, para así asignar a cada módulo su respectiva función en la red.

**Xbee Shield.** El Xbee Shield es la pieza de hardware que permite conectar a través del puerto serial el módulo Xbee, ya configurado, a un microcontrolador Arduino y así permitir que la información fluya entre estos dos medios.

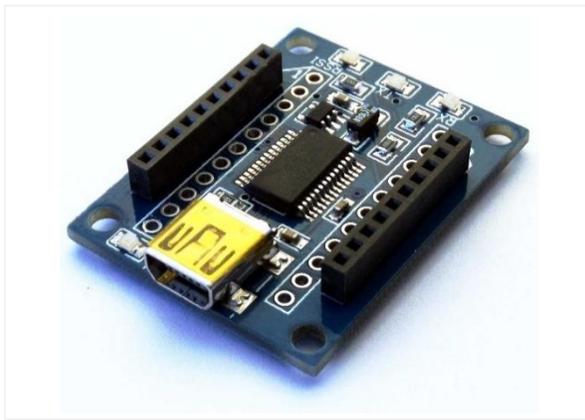
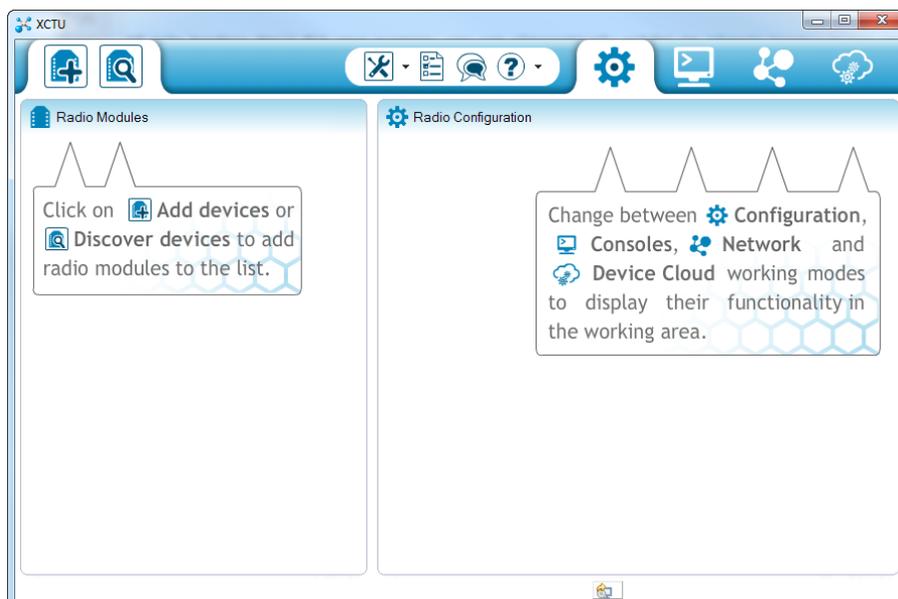


Figura 7. Módulo Xbee Explorer mini USB



Figura 8. Placa Xbee shield conectada

**Software X-CTU.** Es el software desarrollado por el fabricante de los módulos (DIGI) y por medio de una interfaz gráfica amigable se realiza la configuración de cada uno de los módulos que se incluyen en la red y así asignar su rol en el sistema de comunicación.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 9. Software X-CTU: Interfaz de usuario principal

**Sensor ultrasónico HC-SR04.** El HC-SR04 es un sensor medidor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. El sensor funciona enviando y recibiendo una señal ultrasónica, luego usa el tiempo de viaje y la velocidad del sonido para calcular su distancia.



Figura 10. Sensor de distancia ultrasónico HC-SR04

**Arduino UNO y Arduino MEGA.** Arduino® es una compañía que fabrica y desarrolla circuitos y placas de hardware libre que incluyen uno o más micro-controladores, con el fin de posibilitar al usuario final de escribir su propio sistema operativo, en lenguaje C, para dar a la placa múltiples usos que van desde la robótica, domótica y juegos de video hasta la seguridad informática y redes de telecomunicaciones. Los usuarios de Arduino pueden configurar los pines a su gusto y determinar las tareas a realizar por medio de algoritmos desarrollados por el mismo usuario.

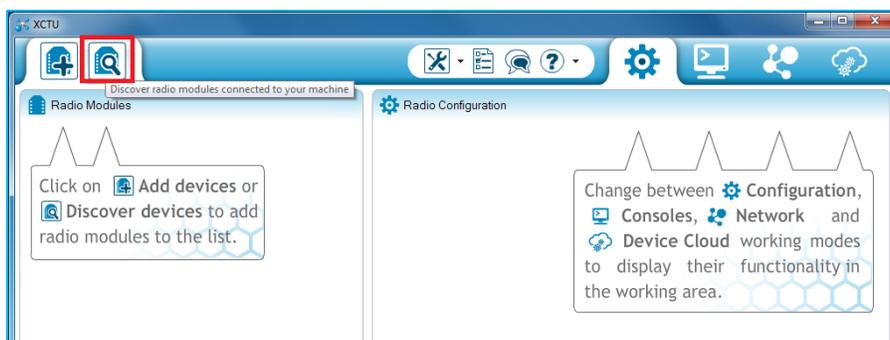


Figura 11. Microcontroladores Arduino Mega y Arduino UNO

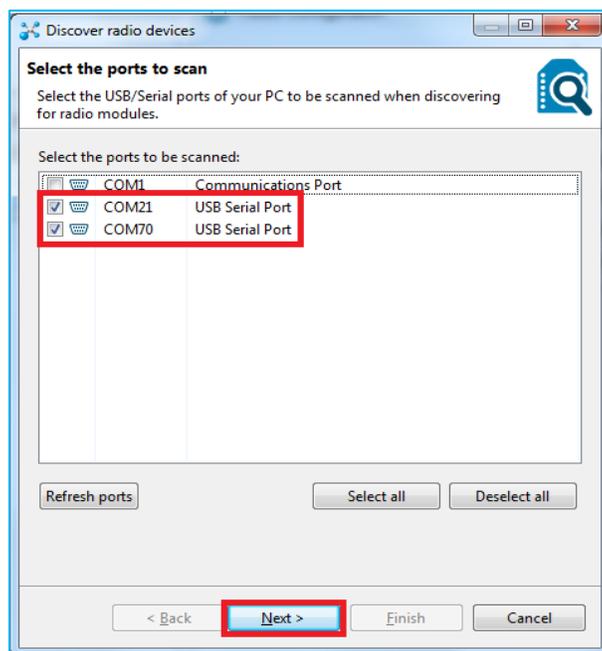
### 3.1.2. Configuración de nodos de red

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se procede a crear la red ZigBee con los módulos Xbee Pro Series 2, en este caso serán dos módulos uno configurado en modo coordinador que será el receptor de la información y otro en modo dispositivo final (*end device*) que será el encargado de la transmisión. Como primer paso se procede a conectar los dos módulos Xbee sobre los Xbee Shield para conectarlos al computador por medio del cable USB, una vez conectados los módulos Xbee al computador se procede a abrir el software X-CTU y se hace clic en el botón “Discover Radio” como se aprecia en siguiente imagen.

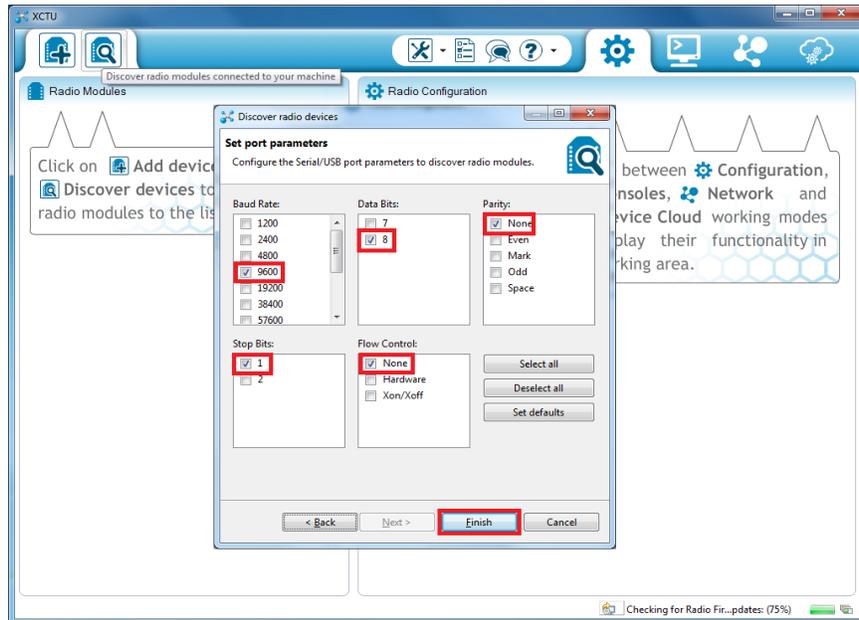


Luego, se abre una nueva ventana donde se seleccionan los puertos COM del computador. Después se activan los *checkboxs* y se hace clic en el botón *Next*.

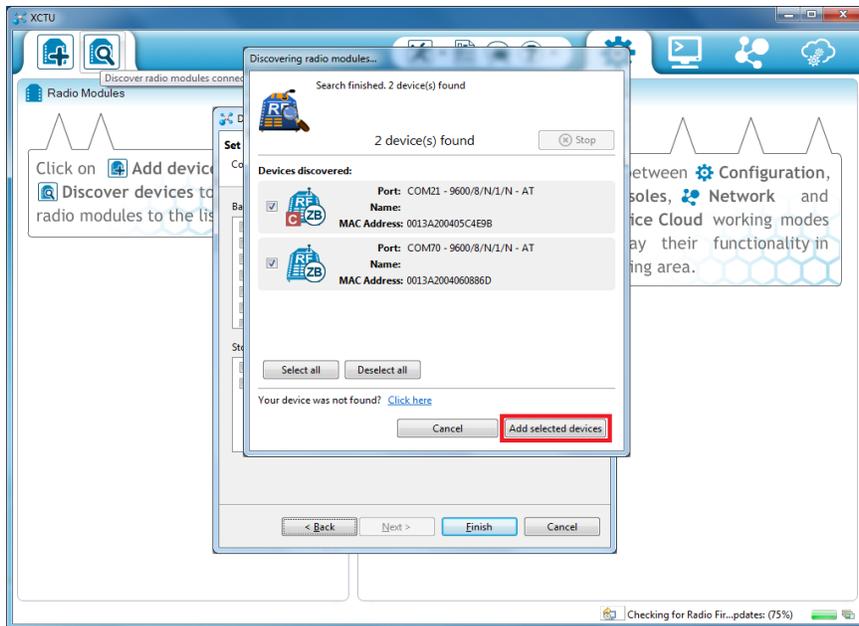


En la siguiente pantalla, se muestra la configuración automática de los módulos que vienen por defecto como la velocidad del puerto en baudios, la velocidad en baudio entre otros, en este caso se deja la configuración por defecto y se hace clic en el botón *Finish*.

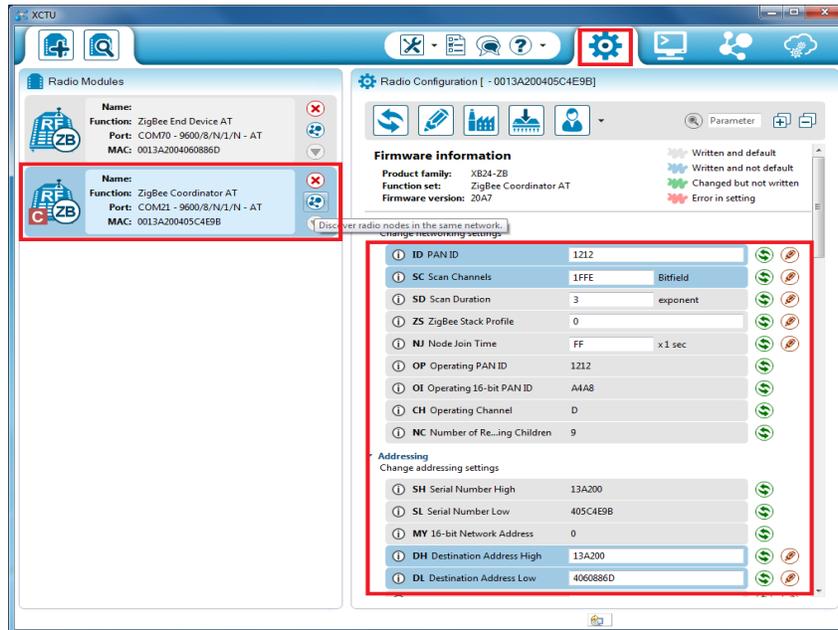
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



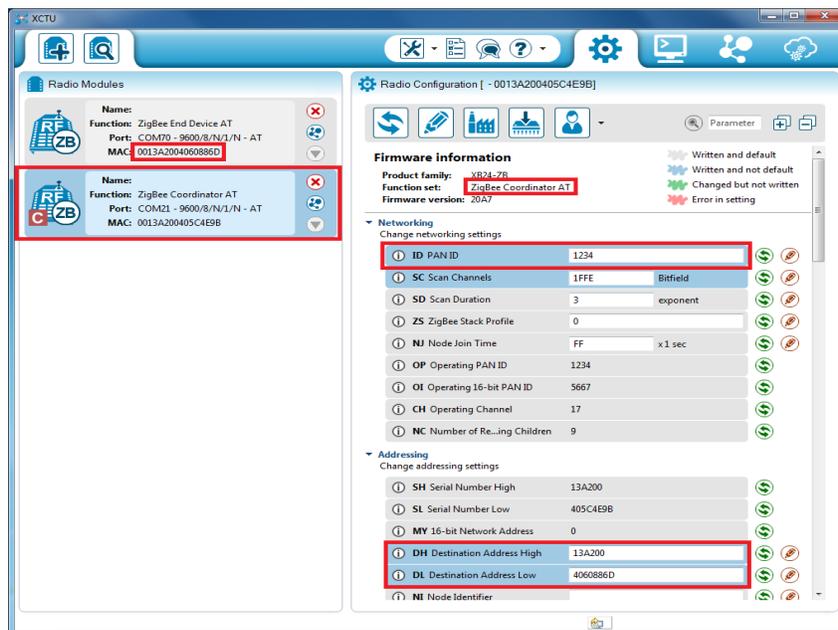
El *software* realiza la sincronización de los módulos y muestra en una pantalla emergente los dos dispositivos listos para configurar, muestra el puerto donde se encuentra conectado y la dirección física MAC de los Xbee. Se hace clic en *Add Selected devices*.



Se selecciona el primer módulo a configurar, se hace clic sobre él y se abre el panel de configuración a la derecha donde se encuentran todos los parámetros de red:



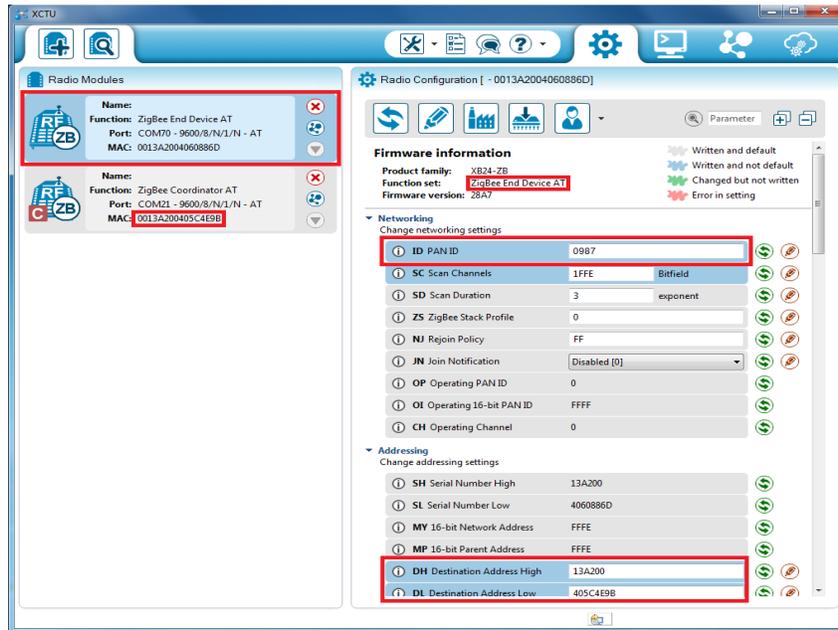
Se procede a configurar la red para el proyecto, se procede a configurar el Xbee en modo coordinador AT, será el módulo principal de la red, luego se debe escoger el PAN ID que debe ser el mismo para los dos módulos, en este caso se usa un código de 4 números, se configura también el DH (Destination Address High) y el DL (Destination Address Low) del otro módulo Xbee y se da clic en el botón que tiene forma de lápiz para que la configuración quede guardada en el módulo.



Luego se realiza la configuración del otro nodo, solo que en este caso como un *End Device AT* y

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

será el transmisor en la red. Se establece el mismo PAN ID, la misma DH (*Destination Address High*) y la misma DL (*Destination Address Low*) del otro dispositivo. Se guardan los cambios y el modulo estará listo para transmitir.



### 3.2. Programación del Sensor Ultrasónico

En primer lugar, se conecta el sensor de ultrasonido al dispositivo Arduino UNO conectando sus pines con el microcontrolador tal como se aprecia en el siguiente diagrama:

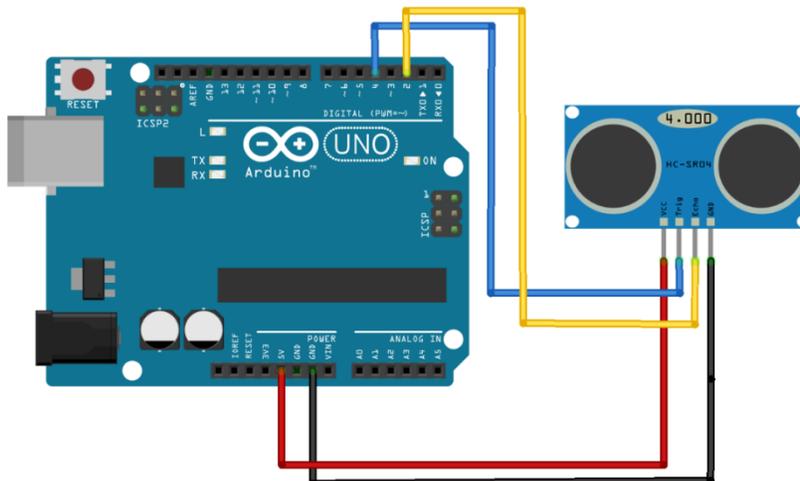


Figura 12. Conexión sensor HC-SR04 a microcontrolador Arduino

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el anterior diagrama el pin *GND* (tierra) del sensor se conecta por medio del cable negro al pin *GND* (tierra) del Arduino, el pin *VCC* del sensor se conecta por medio del cable rojo al pin de alimentación de 5 voltios del Arduino para poder energizar el circuito del sensor, el pin *Trigger* (entrada-input) del sensor por medio del cable amarillo a uno de los pines configurables del Arduino y el pin *echo* (salida-output) del sensor a otro de los pines configurables del Arduino, estos pines del Arduino son los pines configurables, se puede escoger el pin que se quiera para enviar y recibir la información pero al momento de realizar el programa del Arduino se debe dejar especificado los pines físicos que se escogieron.

### 3.2.1. Programación

Ahora bien, una vez realizada la conexión física entre los dos dispositivos y la calibración, se procede a crear el programa de Arduino que permita entablar una comunicación y transmitir la información generada por el sensor para visualizarla por medio de conexión serial, para ello se abre el software Arduino y procedemos a desarrollar el programa usando lenguaje C.

Para comenzar, se declara una constante entera para los pines de entrada y salida de la información, Se configura la velocidad del puerto serial a 9600 baudios, se termina la duración de la señal como cm a partir de un pulso de señal y se ingresan los pines de entrada y salida, se determina la señal de duración como un pulso de entrada, se toma la variable centímetros como microsegundos a centímetros dependiendo la duración del pulso de la señal, se indican los comandos para imprimir la señal en centímetros dependiendo de la duración en microsegundos.

Con esto ya se tiene configurada la segunda parte del proyecto, la comunicación entre el sensor y el dispositivo Arduino, además se procede a instalar sobre el Arduino el Xbee shield con el módulo Xbee ya configurado como dispositivo final (End Device) que será el encargado de transmitir la información generada por el sensor de forma inalámbrica.

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

```

Transmisor
const int trigPin = 13;    // Azul
const int echoPin = 12;   // Violeta

void setup() {
  // initialize serial communication:
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  long duration, cm;

  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  pinMode(echoPin, INPUT);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

  // Convertir tiempo a distancia
  cm = microsecondsToCentimeters(duration);

  Serial.print(cm);
  Serial.print("cm ");
  Serial.println();
}

long microsecondsToCentimeters(long microseconds)
{
  return (microseconds / 29 / 2);           // Sin calibración
  return (microseconds / 29 / 2 - 0.6/0.9871); // Calibrado
}

```

Figura 13. Código fuente microcontrolador transmisor

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

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

### 4.1. Programación del Módulo Receptor

#### 4.1.1. Modulación PWM

Modulación de ancho de pulso o PWM, es una técnica para obtener resultados análogos con medios digitales. El control digital se utiliza para crear una onda cuadrada, una señal de conmutación entre encendido y apagado, este patrón de encendido y apagado puede simular tensiones en el medio completo en (5 voltios) y desactivación (0 voltios) cambiando la porción del tiempo de la señal que pasa en frente, al que pasa por fuera. La duración del "tiempo" se llama el ancho de pulso. Para conseguir variación en los valores analógicos se cambia o modula el ancho de pulso, al repetir este patrón de encendido y apagado suficientemente rápido con un LED, por ejemplo, el resultado es una señal en tensión constante entre 0 y 5V que controla el brillo del LED.

En el siguiente gráfico, las líneas verdes representan un período de tiempo regular. Esta duración o período es la inversa de la frecuencia PWM. En otras palabras, con frecuencia PWM del Arduino a aproximadamente 500 Hz, las líneas verdes medirían 2 milisegundos cada uno. Una llamada a `analogWrite` en una escala de 0 - 255, de tal manera que `analogWrite(255)` solicita un ciclo de trabajo del 100% (siempre encendido), y `analogWrite(127)` es un ciclo de trabajo del 50% (la mitad del tiempo) para ejemplo.

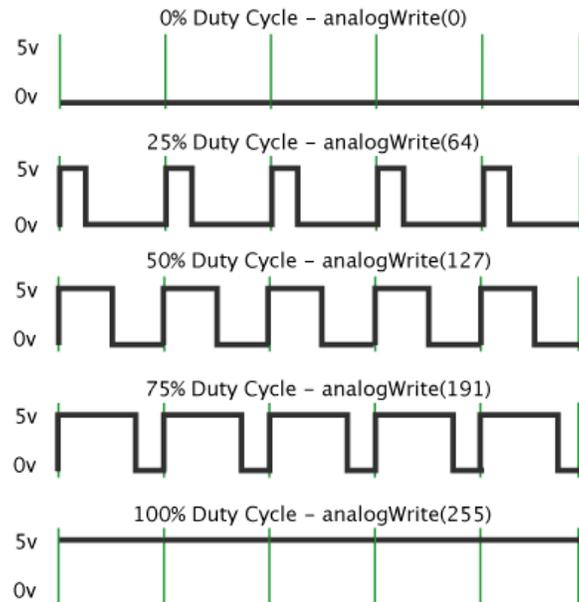


Figura 14. Modulación de ancho de pulso

#### 4.1.2. Codificación en Arduino

Es este paso se procede a realizar el programa del Arduino UNO que estará conectado por medio de un Xbee Shield al módulo Xbee coordinador encargado de recibir de forma inalámbrica la señal generada por el sensor, el Arduino tomara la información y se encargara de procesar y enviarla de forma física por medio de cables a los pines del Arduino MEGA, el Arduino MEGA será el encargado procesar y enviar la información al circuito Bluetooth, configuración sé que indicara más adelante.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

Receptor
// DIY: RECEPTOR ZIGBEE Y TRANSMISOR A INTERFAZ BLUETOOTH.

const int pin11 = 11;    // Salida analógica.
String inString = "";
int distancia = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pin11, OUTPUT);
  while (!Serial) {;}
}

void loop() {

  while (Serial.available() > 0) {

    int inChar = Serial.read();

    if (isDigit(inChar)) {inString += (char)inChar;}

    // if get a newline
    if (inChar == '\n') {
      distancia = inString.toInt();
      Serial.println(distancia);
      analogWrite(pin11, distancia);
      inString = "";
    }
  }
}

```

Figura 15. Código fuente microcontrolador receptor

En este código se configura la conexión entre los dos microprocesadores Arduino, el Arduino UNO que entregará la señal al Arduino Mega y éste se encargará del enviarla al módulo Bluetooth. Se establece pin 11 como una salida analógica, se configura la velocidad del puerto serial a 9600 baudios, dentro del ciclo *while* determina se lee el puerto serial, se convierte los caracteres leídos a números enteros y se envían como señal PWM.

#### 4.1.3. Filtro RC para PWM

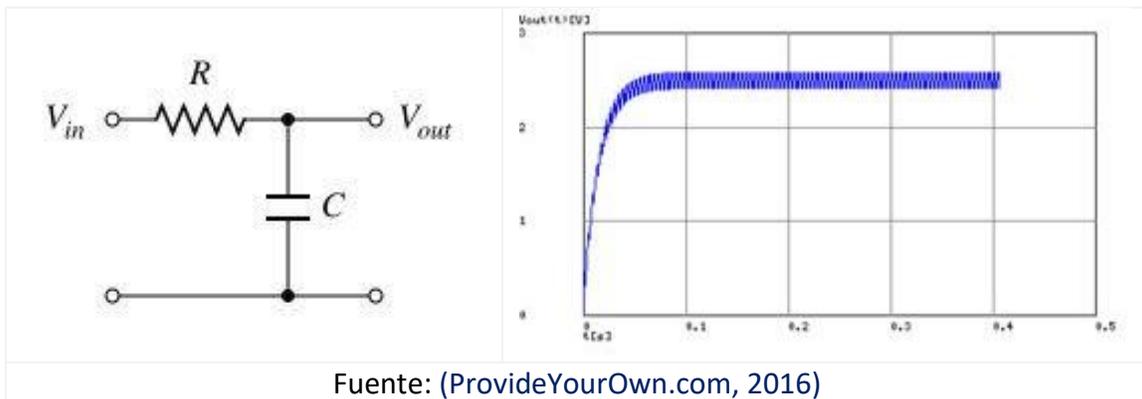
Generalmente, los microcontroladores proporcionan conversión de voltaje analógico a voltaje digital (ADC); entonces, podría suponerse que también proporcionan dicha conversión a la inversa, o sea de digital a analógico (DAC). Pero no es el caso común, en su lugar, los microcontroladores proporcionan un ancho de pulso modulado (PWM) que emula por superposición la salida analógica.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Concretamente, las librerías en lenguaje C de Arduino, proporcionan esta aplicación con la función *analogWrite()*. El nombre de la función sugiere una conversión CAD, pero simplemente la emula controlando un pulso PWM. Pese a que, para muchas aplicaciones tales como el control de motores el pulso PWM es suficiente; para otras aplicaciones, tales como la creación de una tensión lineal controlada, se necesita una DAC real.

Ahora bien, para solucionar este problema de alternación digital, lo que se requiere es un filtro pasa-bajo hecho con una resistencia y un condensador. El filtro pasa-bajo RC que se muestra en la siguiente imagen convierte la señal PWM a un voltaje proporcional al ciclo *duty*.

Figura 16. Circuito filtro para PWM; salida analógica filtrada.



## 4.2. Programación del Módulo Bluetooth

En este paso se procede a conectar el circuito Bluetooth con el dispositivo Arduino Mega como se aprecia en el diagrama. El módulo Bluetooth tiene cuatro pines de conexión:

- El pin VCC del Bluetooth se conecta por medio del cable rojo de la imagen al pin de alimentación de tres voltios, se conecta a este pin y no al de cinco voltios ya que con tres es suficiente para energizar el Bluetooth y así no llegar a quemar el circuito por sobrecarga de energía.
- El pin GND (tierra) se conecta a uno de los pines GND (tierra) del dispositivo Arduino MEGA.
- El pin Tx se conecta por medio del cable blanco al pin Rx0 del Arduino.
- Y, finalmente, el pin Rx del módulo se conecta, por medio del cable naranja, al pin Tx0 del Arduino. Cabe aclarar que el color de los cables en el diagrama es para identificar más fácilmente la configuración física.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

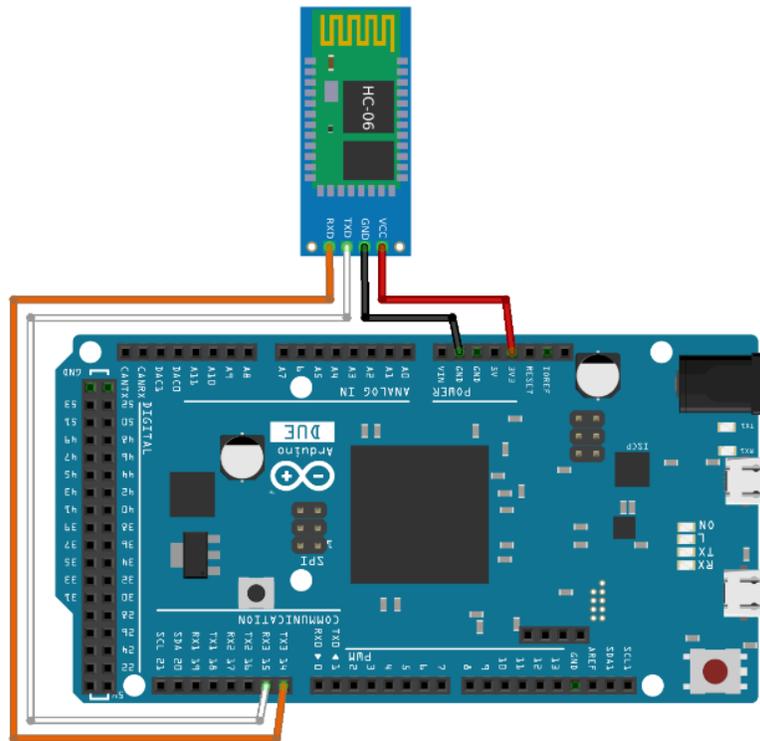


Figura 17. Conexión entre Arduino MEGA y módulo Bluetooth HC-06

```

BlueTooth
// MEGA: Interfaz BlueTooth

const int pin_analogo = 1;    // Analog Read in PinA0
int analoga = 0;             // Variable de lectura análoga
int distancia = 0;

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

void loop() {
  analoga = analogRead(pin_analogo);
  distancia = analoga/4+1;

  Serial.print("\n");
  Serial.print(distancia);
  delay(1000);
}

```

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 18. Código fuente microcontrolador con Bluetooth

Se selecciona el pin análogo 1 como entrada de señal, se configura la conexión serial a 9600 baudios igual que la de los módulos Xbee. A continuación, se formula la variable distancia y para finalizar, se imprimir la información al puerto serial de la variable distancia con un retraso de un segundo (para evitar colapsos de bucle).

#### 4.2.1. Desarrollo de la Aplicación Móvil en Android

Se procede a crear una aplicación de Android que podrá ser instalada en cualquier tipo de dispositivo que use este sistema operativo, desde la interfaz gráfica del aplicativo se podrá visualizar la información generada por el sensor que será la distancia con unidad en centímetros, para el desarrollo de aplicaciones de sistemas operativos basados en Android se usa el lenguaje de programación Java y una herramienta que permita escribir el código para luego generar el archivo instalar de aplicación de extensión .APK, en este proyecto se usará la herramienta APP Inventor que es una plataforma que permitirá realizar la programación usando la técnica de programación por bloques que de una forma visual más didáctica se puede conectar por bloques las variables y órdenes a seguir en el algoritmo, además permite compilar el código generado en un archivo de extensión .APK, el archivo (.APK) generado por la herramienta APP Inventor se envía al *Smartphone* por medio del cable USB y se deja en el directorio raíz de la memoria de almacenamiento y desde el propio sistema operativo se procede con la instalación, para llevar a cabo la programación del aplicativo se procede a realizar el código:

- La aplicación llamara al cliente Bluetooth, cable aclarar que el modo Bluetooth debe estar activado en el Smartphone y enlazado a Arduino.  
`when ListPicker1.BeforePicking`
- La app creará una lista de todos los clientes Bluetooth enlazados con el teléfono móvil, y mostrará sus nombres de red y direcciones MAC.  
`do set ListPicker1.Elements to BluetoothClient1.AddressesandNames`
- Cuando el usuario seleccione una dirección Bluetooth, la aplicación estableceré una conexión permanente con ese cliente.  
`call BluetoothClient1.ConnectAddress ListPicker1.Selection`

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- En este paso, se procede a configurar un reloj que se encargará de recibir cíclicamente la información enviada por el Bluetooth para luego ser visualizada en un cuadro de texto.  
when Clock1.Timer do
- A fin de ahorrar batería del teléfono móvil solo se llamará a la función de recibir *bytes* si hay un cliente Bluetooth conectado.  
if BluetoothClient1.isConnected then  
set Label1.Text1

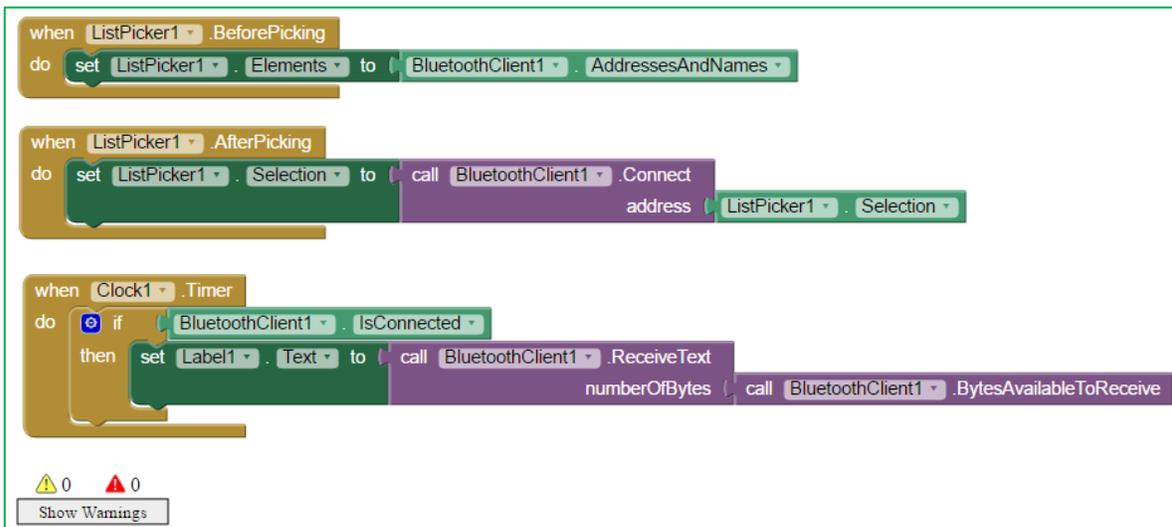


Figura 19. Interfaz gráfica de la aplicación móvil diseñada

Una vez realizado la programación por bloques, se procede a compilar el código y generar el archivo de extensión APK. Una vez generado se pasa al Smartphone por medio del cable USB o fotografía de código QR y desde el sistema operativo Android se procede a instalar el APK.

Una vez instala la aplicación se procede a activar el modo Bluetooth del *Smartphone*, se enlaza con el microcontrolador Arduino, luego se abre la aplicación y se verifica que en el cuadro de texto de la interfaz gráfica se puede leer la información en centímetros generada por el sensor y que viaja a través de dispositivos: módulos Xbee y Bluetooth de forma inalámbrica hasta el dispositivo Android.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 20. Interfaz gráfica de la aplicación móvil diseñada

#### 4.2.3. Calibración del Sensor

Por tratarse de un sonar, es necesario calibrar la resolución y sensibilidad de su respuesta a las condiciones físicas bajo las cuales esté funcionando. En primer lugar, se identifican las especificaciones técnicas de *hardware* con que viene de fábrica:

- Voltaje de alimentación: 5V
- Corriente de funcionamiento: < 2 mA
- Ángulo de cobertura: < 15°
- Rango de medición: 20 cm a 450 cm
- Resolución: 0.3 cm
- Frecuencia de ráfaga sonora 40 Hz.

De estas especificaciones, las más cruciales no son las relacionadas con la potencia eléctrica, pues son constantes de funcionamiento, sino las espaciales: ángulo de cobertura, rango de medición y resolución; éstas variables serán las implicadas en la calibración. El procedimiento

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

básico para realizar una medición con este sensor, es el siguiente:

- Configurar el pin *Trigger* en alto durante al menos 10 microsegundos. Esto constituye una señal de disparo o activación para el sensor.
- Luego, leer el pulso de retorno por el pin *Echo*. Así, el principio de calibración, es que la duración del pulso será proporcional a la distancia medida, según la fórmula cinemática:

$$Distancia(x) = \frac{Duración Pulso (T)}{2 \cdot Velocidad del sonido (v)}$$

Ello con temperatura y presión del aire constantes. El valor promedio para  $v$ , sin calibración es:

$$v = 340 \frac{m}{s} = 0.034 \frac{cm}{\mu s} \approx \frac{1}{29.4117647059} \frac{cm}{\mu s}$$

Luego, con la ayuda de flexómetro y sobre una superficie lisa se compara la distancia medida por el sensor HC-SR04 con una posición de referencia. Comparando la pareja de datos, se analiza una posible relación funcional entre ellos que, naturalmente, tiende a ser lineal; luego con una regresión lineal como herramienta estadística, se corregirá el *firmware* con el fin de medir con mayor acierto. Las funciones lineales se componen de dos constantes regresoras  $\beta_0$  y  $\beta_1$ , cuyos valores se obtienen de una regresión lineal, a saber:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x$$

En consecuencia, la relación funcional que permite calibrar la medida corregida del sonar es:

$$x_{sonar} = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{flexómetro}$$

Así, los datos registrados y su correspondiente regresión, están en el siguiente diagrama:

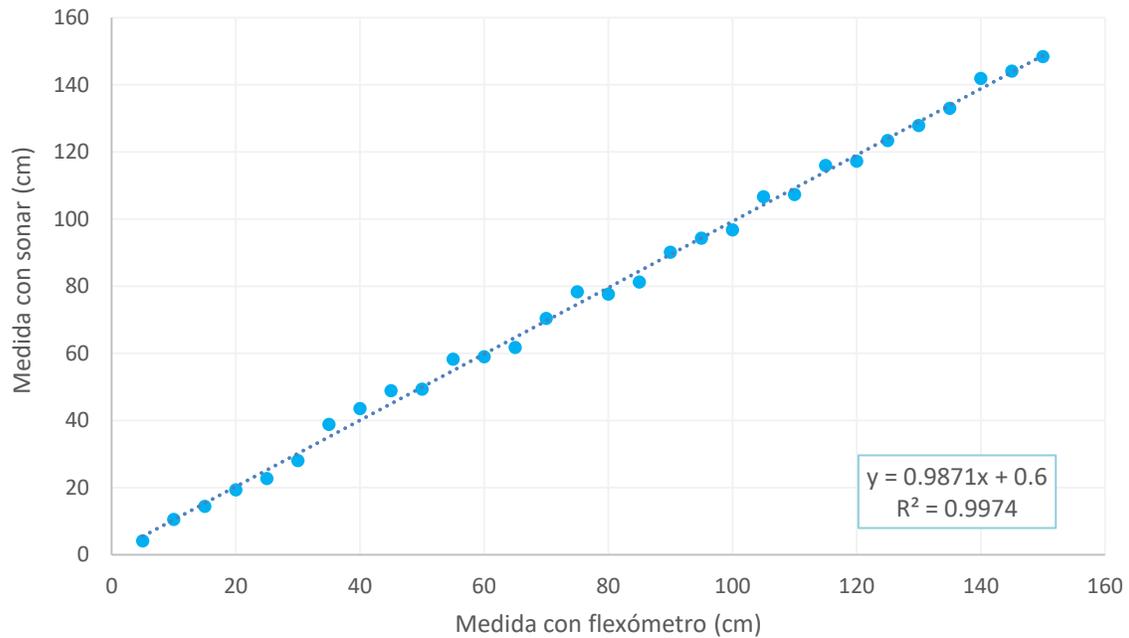


Figura 21. Regresión lineal para la calibración del sensor HC-SR04

De este modo, los valores estimados para los coeficientes son:  $\beta_0 = 0.6$  y  $\beta_1 = 0.9871$ . Dichos valores deberán sustituirse en  $x_{sonar} = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{flexómetro}$  para calibrar el sensor.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

Este apartado es el corazón del manuscrito, donde la mayoría de los lectores irán después de leer el resumen. Se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Como resultado del proyecto acerca del protocolo ZigBee y su implementación tecnológica en los sistemas de comunicación inalámbrica, se logró la conexión, monitorización y control del protocolo, desempeñando funciones de telecomunicación con un constante flujo de información a través la red inalámbrica.

Mediante el sistema Arduino y Bluetooth se implementó un correcto funcionamiento del sistema inalámbrico ZigBee desde el dispositivo Android, permitiendo una creación eficaz de red de sensores por medio de la aplicación móvil los cuales establecían comunicación para ejecutar tareas domésticas y de telecomunicación.

Finalmente, se desarrolló la aplicación móvil con una estética que privilegia el fácil entendimiento y manejo, para así ser una aplicación a nivel de todo público.

Dado que el actual dispositivo solo está en capacidad de leer y monitorear un sensor, se proyecta y recomienda la evolución y mejora del aplicativo para lograr no solo un monitoreo sino, el control de otros dispositivos en la ejecución de tareas domésticas o cualquier otra labor, de esta manera se darían órdenes a través del dispositivo móvil.

- Las conclusiones deberán ser escritas en tiempo presente.
- La primera conclusión (o conclusión general) deberá responder al objetivo general planteado, las observaciones se plantean en torno a este y son soportadas por los resultados. Se deben

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

también incluir entre otras las fortalezas, limitaciones y restricciones.

- Las conclusiones complementarias deberán enfocarse solo hacia la solución de los objetivos específicos, lo que hace que el número de conclusiones sea igual al número de objetivos específicos planteados.
- En las recomendaciones se describen aquellos puntos que pudieran mejorar el trabajo y que no fueron tenidos en cuenta durante la realización o que fueron descubiertos en el desarrollo de la misma.
- En el trabajo futuro se esclarece la proyección del trabajo realizado, en el sentido de otras aplicaciones, mayores desarrollos, otras consideraciones, etc. Es dejar en evidencia otras oportunidades en el área estudiada.

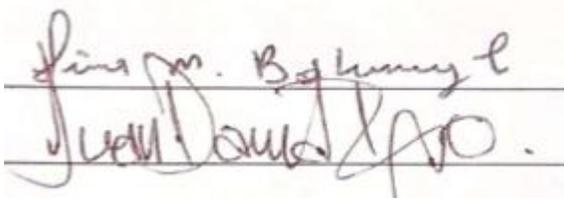
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 6. REFERENCIAS

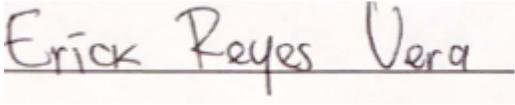
---

- Dignani, J. (2011). Análisis del Protocolo ZigBee . Universidad Nacional de la Plata.
- Electrocomponentes S.A. (2016). *Tecnología ZigBee. Un Mundo de Soluciones Inalámbricas!*  
Obtenido de <http://www.electrocomponentes.com/articulos/diciembre06/zigbee.html>
- Glen M., M., & Moreno, J. (23 de Mayo de 2012). *ZigBee*. Obtenido de <https://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>
- Gutierrez, M. J. (10 de agosto de 2015). *Todo sobre ZigBee, la tecnología ultrabarata para comunicación inalámbrica*. Obtenido de <http://www.elandroidelibre.com/2015/08/todo-sobre-zigbee-la-tecnologia-ultrabarata-para-comunicacion-inalambrica.html>
- Iraceburu González, J., & Goicoechea Fernández, J. (18 de junio de 2014). Desarrollo e implementación de una red inalámbrica de sensores de temperatura y humedad. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- Longares, J. (07 de abril de 2013). *Introducción a Zigbee y las redes de sensores inalámbricas*. Obtenido de <http://www.javierlongares.com/arte-en-8-bits/introduccion-a-zigbee-y-las-redes-de-sensores-inalambricas/>
- Montesinos Navarro, J. (septiembre de 2013). Red de sensores auto-configurable mediante tecnologías ZigBee y Arduino. Cartagena, Colombia: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación: Universidad Politécnica de Cartagena: .
- Pérez, A. (junio de 2013). Diseño de aplicación móvil para la comunicación inalámbrica de señales Audiovisuales. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



FIRMA ESTUDIANTES



FIRMA ASESOR

FECHA ENTREGA: 7/10/2016

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_\_      ACEPTADO\_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_  
 FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_  
 FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_