

**PROTOTIPO AUTOMÁTICO DE SEÑALIZACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN  
EN CASOS DE EMERGENCIA, CON CARÁCTER INCLUYENTE DE LA  
POBLACIÓN EN CONDICIÓN DE DISCAPACIDAD**

ANGEL DAVID LOZANO FARÍAS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA  
BOGOTÁ D.C  
2016

**PROTOTIPO AUTOMÁTICO DE SEÑALIZACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN  
EN CASOS DE EMERGENCIA, CON CARÁCTER INCLUYENTE DE LA  
POBLACIÓN EN CONDICIÓN DE DISCAPACIDAD**

ANGEL DAVID LOZANO FARIÁS

Proyecto de grado para optar por el título de licenciado en electrónica

Tutor

Diego Acero

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA  
BOGOTA D.C  
2016

Nota de aceptación:

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado






## **DEDICATORIA**

Este trabajo de grado es dedicado principalmente a Dios por darme la oportunidad de vivir tantas experiencias a lo largo de mi vida y tener la opción de realizar este trabajo en la Universidad Pedagógica Nacional. A mis padres, por brindarme el apoyo necesario para ir cumpliendo los objetivos que a lo largo de la vida he alcanzado y por confiar en mis cualidades y aptitudes para cumplir con las expectativas que tienen puestas en mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mi familia por su dedicación, apoyo y confianza en mí para lograr cumplir con cada tarea asignada no solo a nivel académico reflejado en este trabajo de grado sino también personal, social, cultural, deportivo, espiritual entre otros campos. Agradezco también a la educadora de educadores, la Universidad Pedagógica Nacional por recibirme y ser mi segundo hogar durante estos años convirtiéndose así en la base para mi formación superior. Igualmente, a todos los profesores que tuve a lo largo de este tiempo especialmente al profesor Diego Acero por ser mi tutor y hacerse cargo de guiar este trabajo de grado de principio a fin. Del mismo modo a todos los compañeros que acompañaron mi proceso ya que junto a ellos logré pasar cada escollo que se presentó durante la carrera y pude finalizar este proceso.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela Superior de Pedagogía</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 8 de 73	

<b>1. Información General</b>	
<b>Tipo de documento</b>	TRABAJO DE GRADO
<b>Acceso al documento</b>	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL. BIBLIOTECA CENTRAL
<b>Título del documento</b>	PROTOTIPO AUTOMÁTICO DE SEÑALIZACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN EN CASOS DE EMERGENCIA, CON CARÁCTER INCLUYENTE DE LA POBLACIÓN EN CONDICIÓN DE DISCAPACIDAD
<b>Autor(es)</b>	LOZANO FARÍAS, ANGEL DAVID
<b>Director</b>	ACERO, DIEGO
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional. 2016, 68p.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional
<b>Palabras Claves</b>	XBEE®, ARDUINO, RADIOFRECUENCIA, XBEE SHIELD, SENSOR DE GAS Y DE HUMO MQ2, PERIFONEO, TARJETA ISD 1820, SECUENCIAS DE SONIDO, ESTRUCTURA, DISCAPACIDAD, ESCUCHA BINAURAL, PERCEPCIÓN DEL SONIDO.

<b>2. Descripción</b>
<p>En el proyecto de grado se trabajó la construcción de un prototipo automático de señalización de rutas de evacuación en casos de emergencia en especie de check points. Comunicados por medio de dispositivos de radiofrecuencia Xbee® configurados de la forma punto-multipunto con un coordinador y tres routers. Cada router tiene asociado por medio de la tarjeta Arduino Uno y el Xbee Shiled un sensor de gas y de humo MQ2 que al ser activados envían la información al coordinador, este a su vez luego de analizar la información suministrada por cada router activa el inicio de la etapa de perifoneo con tres secuencias de sonidos distintas: de activación, señalización de ruta y señalización de punto final que son reproducidas por medio de un parlante implementado en cada punto o router de la ruta a llevar a cabo, guiando a la persona con discapacidad visual por medio de</p>



sonido. Al mismo tiempo las secuencias son acompañadas por led's para complementar el sistema en caso de que en la emergencia haya poca visibilidad.

### 3. Fuentes

Silveira, K. (2012). *Los ciegos oyen mejor: ¿Mito o Realidad?* Recuperado el 3 de noviembre de 2014 de <http://www.ojocientifico.com/5495/los-ciegos-oyen-mejor-mito-o-realidad>

Benedito Botella, P. (2012). *Detalle de la definición del sistema de coordenadas vertical-polar. Procesador de sonido y estudio de métodos para la generación de audio 3D en tiempo real. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia, España.*

Nogales García, J. (2008). *Los sistemas de megafonía para aplicaciones de evacuación y emergencia. Prevención de incendios.* Recuperado el 24 de abril de 2016 de <http://www.morley-ias.es/desdocumentacion/morley/noticias/articulos/megafonia2.pdf>

Ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones. Colombia (2014). *Plan de emergencias y contingencias.* Recuperado el 2 de junio de 2016 de [http://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-1969\\_plan\\_emergencia\\_2014.pdf](http://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-1969_plan_emergencia_2014.pdf)

Unicef (2012). *Protocolos escolares de emergencia, La comunidad escolar en movimiento: Preparación y respuesta educativa*. Recuperado el 2 de junio de 2016 de <http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Protocolos%20escolares%20de%20emergencia.pdf>

#### **4. Contenidos**

A continuación se observa los contenidos del presente trabajo de grado, enunciado por capítulos.

##### CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

Para el primer capítulo con referencia al marco teórico, se tomó en cuenta la información brindada por la licenciada Rocio Alvarado, trabajadora del programa de Tiflogía de la Universidad Pedagógica Nacional, acerca de datos estadísticos de los estudiantes con discapacidad visual que estudian en ella. Adicionalmente se hace referencia a los estudios realizados por la Universidad de Montreal en donde aclaran el hecho de que las personas con discapacidad visual reconocen mejor las notas y el origen de los sonidos en lo que se denomina escucha binaural que es la responsable de la percepción o detección de la dirección del sonido. Otro estudio que se toma como referencia es la investigación de la doctora Brigitte Röder de la Universidad Philipps de Marburgo que afirma que las personas que pierden la visión llegan a incrementar la capacidad auditiva.

##### CAPÍTULO 2: DISEÑO ELECTRÓNICO

El segundo capítulo hace referencia a la selección de los componentes electrónicos pertinentes para la construcción del sistema sus características y funcionalidad, realizando distintas pruebas que dan cuenta de la viabilidad de éstos elementos para el adecuado funcionamiento en este trabajo de grado.

##### CAPÍTULO 3: PRUEBAS PILOTO Y PRUEBAS FINALES

En este capítulo, se evidencian las diferentes pruebas realizadas con cada uno de los puntos del sistema, teniendo en cuenta los distintos enjambres de conexión de los módulos Xbee®, el envío y recepción de datos, secuencias y patrones utilizados, cómo se afectan todos estos parámetros de acuerdo a la variación de la distancia y los obstáculos que se encuentren durante los trayectos y las líneas de vista, la variación de voltaje y corriente que puede afectar el funcionamiento de los componentes; todo esto con el fin de que posteriormente se realicen las correcciones requeridas que irán alimentando los procesos finales en cuanto a comunicación, programación, conexión, secuencias y frecuencias y ensamblaje para el óptimo funcionamiento del sistema en general.

## CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA ESTUCTURA

En el cuarto capítulo se encuentra el proceso para el diseño de la estructura de cada uno de los puntos que componen el sistema con material fotográfico de cada etapa de la construcción.

### **5. Metodología**

#### METODOLOGÍA EARLE

Durante el proceso para la realización y culminación del proyecto de grado, se debía seleccionar una metodología que estuviera acorde con las necesidades y requerimientos de éste, así que, después de hacer una revisión de varios tipos de metodología se decidió trabajar con una metodología cíclica que permitiera estar en constante revisión de los pasos que esta conlleva, por tal motivo, se dispuso la elección de la metodología Earle que es una de las metodologías de diseño, puesto que facilita la investigación, diseño e implementación de cada punto que contiene el sistema. Esta metodología cuenta con 6 pasos que son: Identificación del problema, ideas preliminares, perfeccionamiento del problema, análisis, decisión y realización.

### **6. Conclusiones**

- Durante el proceso de construcción el primer obstáculo que se encontró fue la comunicación fallida entre los módulos Xbee® al ser integrados con el Arduino por medio de la Xbee shield, esto se debe a que en la Xbee shield se encuentra localizado un switch en donde en sus extremos se encuentran las opciones de DLINE y UART. Para que la comunicación sea exitosa el switch debe estar en UART Transmisor-Receptor Asíncrono Universal por sus siglas en inglés, ya que este modo es el que permite el control de los puertos y dispositivos para la comunicación serial que es la comunicación que se trabajó en este proyecto.
- Durante las pruebas realizadas con la tarjeta ISD1820 y revisando el datasheet se encontró que el microcontrolador no posee la función de guardar la información grabada por él para su posterior desglosamiento y uso, por tal motivo la opción de grabar las secuencias hechas en AUDACITY directamente desde la tarjeta queda descartada. De esta manera la opción a utilizar fue la de programar directamente las secuencias desde el Arduino por medio de un programa que ejecutara esta acción.
- Se había estipulado que el proyecto iba a habilitar y deshabilitar las rutas pertinentes dependiendo del tipo de emergencia que se presente y los obstáculos generados por ellas. En este punto durante el proceso y luego de debatirlo con el asesor se llegó a la conclusión de que

es más óptimo predefinir las rutas de evacuación tomadas por el sistema previamente ya que si lo hacemos de la manera como se planteó inicialmente la tarjeta Arduino iba a necesitar mayor capacidad de cómputo y eso haría que el sistema se volviera lento y poco eficiente puesto que las órdenes para decidir y actuar iban a desarrollarse de manera tardía haciendo al sistema inservible.

- Otro punto de bastante importancia es que la red estimada para un funcionamiento de mayor eficiencia para los módulos Xbee® es configurar una red MESH ya que esta permite que haya tráfico de información entre módulos programados como routers, evitando así que toda la información deba pasar estrictamente por el coordinador, aspecto que no sucede en la red punto a multipunto trabajada en este proyecto. No se trabajó la red MESH porque para que el funcionamiento de esta red pueda ser evidenciado es necesario tener más de 8 puntos trabajando al mismo tiempo y por cuestiones de presupuesto es demasiado costoso para poder ser implementada.
- se debe tener en cuenta los aspectos de seguridad y protocolos de evacuación que rigen las situaciones de emergencia que se puedan presentar en distintas partes ya que es diferente la evacuación para un edificio que para un colegio o un teatro entre otras posibilidades, adicionalmente a nivel global no hay un protocolo que tenga los parámetros obligatorios de cómo hacer una evacuación aunque si hay normas que dan pautas para situaciones de emergencia como lo son las normas ICNTEC-NTC en cuanto a material de seguridad (1478), sistemas de señales contra incendio. Instalación, mantenimiento y usos (1700), edificios pasillo y corredores (4140) y edificios escalares (4145), las normas NFPA – National Fire Protection Association por sus siglas en inglés, referentes a organización, entrenamiento y equipos para brigadas contra incendio privadas (600) y código de seguridad humana (101). A nivel nacional la legislación colombiana en materia de salud ocupacional establece en varias normas la obligatoriedad que tienen las entidades públicas y privadas para implementar el Programa Integral para la Prevención y el Control de Emergencias, reflejadas en las leyes 9, 1523, 1575, 1562, las resoluciones 2400, 2413, 1016, decretos 2222, 423, 546 y 1443.
- En cuanto a seguridad y aspectos técnicos se puede indagar más acerca de cuáles secuencias sonoras son las más pertinentes o si existe alguna normatividad que rija la construcción de las mismas teniendo en cuenta la percepción que tienen las personas en condición de discapacidad, ya que las escogidas para este proyecto fueron realizadas de manera experimental y a consideración propia. Otro aspecto a tener en cuenta es las características que deben cumplir los materiales especialmente para el perifoneo ya que el sistema de bocinas implementado en este proyecto no tiene alguna especificación sobre resistencia al calor o fuego, tampoco sobre qué tamaño deben cumplir y a qué intensidad se debe manejar la producción del sonido.

<b>Elaborado por:</b>	ANGEL DAVID LOZANO FARÍAS
<b>Revisado por:</b>	DIEGO ACERO

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	06	JUN	2016
--	----	-----	------

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA METODOLOGÍA EARLE .....	22
FIGURA 2. PUNTOS DE ENCUENTRO UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL.....	30
FIGURA 3. DETALLE DE LA DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS VERTICAL-POLAR. ....	33
FIGURA 4. ESPACIAMIENTO DE UN SISTEMA DE PERIFONEO. ....	34
FIGURA 5. ORIENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PERIFONEO .....	35
FIGURA 6 ÁNGULO DE DISPERSIÓN DEL ALTAVOZ DE UN SISTEMA DE PERIFONEO.....	35
FIGURA 7. MÓDULO XBEE PRO S2B Y TOPOLOGÍA DE CONEXIÓN.....	39
FIGURA 8. CONFIGURACIÓN PUNTO A MULTIPUNTO. ....	40
FIGURA 9. XBEE EXPLORER. ....	41
FIGURA 10. MICROCONTROLADOR ARDUINO UNO.....	42
FIGURA 11. TARJETA XBEE SHIELD. ....	43
FIGURA 12. SENSOR DE GAS Y DE HUNO MQ2 ANTIGUA Y NUEVA VERSIÓN. ....	43
FIGURA 13. PROGRAMA EN AUDACITY SEÑAL DE ACTIVACIÓN SOL(G6) Y Do(C6).....	45
FIGURA 14. PROGRAMA EN AUDACITY SEÑAL DE RUTA LA(A5) Y LA(A6). ....	46
FIGURA 15. PROGRAMA EN AUDACITY SEÑAL PUNTO FINAL MI (E6) SOL (G6) Y Do (C6).....	46
FIGURA 16. TARJETA ISD 1820 GRABACIÓN Y REPRODUCCIÓN DE SONIDOS. ....	48
FIGURA 17. MONTAJE EN FRITZING DE LOS MÓDULOS XBEE. ....	49
FIGURA 18. MONTAJE EN FRITZING COORDINADOR ROUTER.....	49
FIGURA 19. MONTAJE EN FRITZING SENSOR MQ2. ....	50
FIGURA 20. MONTAJE FINAL EN FRITZING DE TODAS LAS ETAPAS COORDINADOR Y ROUTERS. ....	51
FIGURA 21. DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO DE LOS 3 LED'S CONECTADOS EN PARALELO.....	52
FIGURA 22. COMUNICACIÓN PUNTO A MULTIPUNTO A TRAVÉS DEL TERMINAL DEL XCTU. ....	55
FIGURA 23. SECUENCIA DE PRUEBA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	56
FIGURA 24 . LECTURA DE SENSOR DE HUMO Y GAS MQ2.....	57
FIGURA 25. MONTAJE TARJETA ISD1820 Y ARDUINO. ....	59
FIGURA 26. MONTAJE FINAL COORDINADOR. ....	61
FIGURA 27. MONTAJE FINAL ROUTERS. ....	62
FIGURA 28. ORIFICIOS PARA EL PARLANTE Y SENSOR DE GAS Y HUMO. ....	64
FIGURA 29. ORIFICIOS PARA LA ANTENA. ....	64
FIGURA 30. VISTA DESDE ABAJO Y DESDE ARRIBA DE LA ESTRUCTURA.....	65
FIGURA 31. IMPRESIÓN CARA INFERIOR Y EMPALME CON EL PARLANTE Y EL SENSOR. ....	66
FIGURA 32. ESTRUCTURA BASE TERMINADA .....	662
FIGURA 32. TAPA DE LA ESTRUCTURA .....	66
FIGURA 34. ESTRUCTURA FINAL TERMINADA .....	643

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. DISTRIBUCIÓN DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL UPN.....	29
TABLA 2. MÓDULOS XBEE® Y SUS CARACTERÍSTICAS .....	38
TABLA 3. NOTAS UTILIZADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	45
TABLA 4. DURACIÓN DE CADA NOTA EN MILISEGUNDOS. ....	47
TABLA 5. NÚMEROS CARACTERÍSTICOS DE CADA MÓDULO XBEE®.....	54
TABLA 6. FUNCIONES ISD1820. ....	58
TABLA 7. DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS CON LOS QUE CUENTA EL SISTEMA. ....	61
TABLA 8. MEDIDAS DE LOS ORIFICIOS PARLANTE, SENSOR Y ANTENA. ....	65

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado muestra el desarrollo de un sistema automático de señalización de rutas de evacuación en casos de emergencia, con carácter incluyente de la población en condición de discapacidad. A lo largo de este escrito se encontrarán las principales razones que motivaron la realización de este proyecto. Su construcción, partiendo desde lluvias de ideas generales, pasando por pruebas preliminares hasta los pasos definitivos para su elaboración, qué elementos fueron escogidos y por qué se eligieron, de qué forma fueron conectados y que encadenamiento fue necesario para cumplir con el objetivo final.

Por otro lado, se muestra la necesidad de hacer proyectos de este tipo ya que como se ve más adelante en la parte de antecedentes es mínima la información que se puede encontrar sobre proyectos enfocados a rutas de evacuación y señalización por medio de proyectos electrónicos de este tipo específicamente y son escasas las oportunidades que se brindan para enfocar los sistemas de comunicación y sus aplicaciones en campos de inclusión de personas con algún tipo de discapacidad, mejorando así su calidad de vida y minimizando de alguna manera el constante riesgo a que están expuestas si se llega a presentar algún tipo de emergencia dentro de alguna edificación.

Al ser un proyecto que cuenta con muy poca información previa para basarse en ella puede catalogarse como original y pionero. Por eso cuenta con un diseño propio y moldeable para la implementación de la parte de hardware que permite que sea de fácil acceso a su parte interna y alguna pieza pueda ser reemplazada de manera ágil si llega a sufrir algún tipo de daño.

Así pues, se fue consolidando este trabajo de grado el cual cuenta con una organización de cuatro capítulos distribuidos en marco teórico, diseño electrónico, pruebas piloto y finales y diseño de la estructura que serán explicadas de manera más detallada a continuación.

## CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

Para el primer capítulo con referencia al marco teórico, se tomó en cuenta la información brindada por la licenciada Rocio Alvarado, trabajadora del programa de Tiflología de la Universidad Pedagógica Nacional, acerca de datos estadísticos de los estudiantes con discapacidad visual que estudian en ella. Adicionalmente se hace referencia a los estudios realizados por la Universidad de Montreal en donde aclaran el hecho de que las personas con discapacidad visual reconocen mejor las notas y el origen de los sonidos en lo que se denomina escucha binaural que es la responsable de la precepción o detección de la dirección del sonido. Otro estudio que se toma como referencia es la investigación de la doctora Brigitte Röder de la Universidad Philipps de Marburgo que afirma que las personas que pierden la visión llegan a incrementar la capacidad auditiva.

## CAPÍTULO 2: DISEÑO ELECTRÓNICO

El segundo capítulo hace referencia a la selección de los componentes electrónicos pertinentes para la construcción del sistema sus características y funcionalidad, realizando distintas pruebas que dan cuenta de la viabilidad de éstos elementos para el adecuado funcionamiento en este trabajo de grado.



### CAPÍTULO 3: PRUEBAS PILOTO Y PRUEBAS FINALES

En este capítulo, se evidencian las diferentes pruebas realizadas con cada uno de los puntos del sistema, teniendo en cuenta los distintos enjambres de conexión de los módulos Xbee®, el envío y recepción de datos, secuencias y patrones utilizados, cómo se afectan todos estos parámetros de acuerdo a la variación de la distancia y los obstáculos que se encuentren durante los trayectos y las líneas de vista, la variación de voltaje y corriente que puede afectar el funcionamiento de los componentes; todo esto con el fin de que posteriormente se realicen las correcciones requeridas que irán alimentando los procesos finales en cuanto a comunicación, programación, conexión, secuencias y frecuencias y ensamblaje para el óptimo funcionamiento del sistema en general.

### CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA ESTUCTURA

En el cuarto capítulo se encuentra el proceso para el diseño de la estructura de cada uno de los puntos que componen el sistema con material fotográfico de cada etapa de la construcción.

## JUSTIFICACIÓN

Según el último censo realizado por el DANE en 2005 y consolidado el 30 de junio la cifra total de colombianos fue de 42'888.592. La cifra de personas con discapacidad visual es del 6.47%, es decir aproximadamente 2'647.000 habitantes de los cuales 74.915 son discapacitados visuales totales. Bogotá cuenta con 6'778.691 de habitantes, de ellos 12.084 personas tienen discapacidad visual total, representando el 0,16% de la población.

Por otro lado, con el crecimiento de la tecnología en el mundo para mejorar la calidad de vida de las personas se han desarrollado infinidad de aparatos y artefactos que cumplen distintas funciones, ya sea de comunicación, entretenimiento, conectividad, industrialización y automatización, entre otras. Un ejemplo de esto son los edificios inteligentes. Bogotá cuenta hasta el momento con 4 de estos que son el Aeropuerto Internacional El Dorado, que es la terminal aérea más moderna de América Latina, y tiene la última tecnología para servicio de vuelos, climatización, monitoreo de equipaje y sistemas para el alta energética.

El edificio Avianca donde se han implementado nuevas formas de aprovechamiento de recursos naturales como la luz solar para generar ahorro de energía y de agua.

El edificio Novartis que es la sede de la multinacional farmacéutica se convirtió en la primera edificación colombiana en obtener la certificación LEED (Líder en Eficiencia y Diseño Sostenible, por sus siglas en inglés), en la categoría Plata, otorgada por el Consejo de la Construcción Sostenible de Estados Unidos (en inglés US Green Building Council, USGBC). Sobresale por sus modernos sistemas de ventilación e iluminación que generan un ambiente bioclimático natural: 37% de ahorro de energía, gracias a un sistema de aireación natural,

además de una oportuna adecuación y diseño de las oficinas que permiten aprovechar al máximo la luz natural.

La totalidad de estas edificaciones son realizadas por empresas del sector privado y con exclusividad para las personas pertenecientes a ellas de alguna forma en particular ya sean por ser socios, clientes, estudiantes entre otras.

Como se ve en las anotaciones anteriores, no hay un diagnóstico completo entre entidades privadas y públicas acerca de la implementación de mecanismos y sistemas inteligentes para edificaciones con el fin de aportar tecnologías que ayuden a mejorar la calidad de vida de personas con limitación visual.

Por otra parte, la Universidad Pedagógica Nacional aunque cuenta con planes de evacuación organizados basándose en sus funcionarios como principales actores y personas de apoyo para los sujetos discapacitados visualmente, según expertos del área de Tiflología, sí se requiere de un sistema de evacuación externo y distinto al de personas capacitadas para brindar apoyo en caso de emergencias ya que hay momentos en los que los discapacitados visualmente deben evacuar por sí mismos, ya sea, porque se encuentran solos o el personal no es suficiente para auxiliarlos y requieren de un método para guiarse hacia las salidas y puntos de encuentro.

Bajo este contexto de edificaciones inteligentes y personas con discapacidad visual, se desea diseñar un protocolo de comunicación entre dispositivos Xbee® que actúe como un sistema de sonidos y luces a diferentes frecuencias, intensidades y patrones como método de evacuación para personas con discapacidad visual, el cual indica el trayecto de salida principalmente de salones y pasillos, que puede ser programado para habilitar y deshabilitar las rutas pertinentes dependiendo del tipo de emergencia que se presente.

Este trabajo de grado es aplicable o se puede vincular a las diferentes materias y contenidos del programa académico ya que, en gran medida, a lo largo de la carrera se imparten los conocimientos necesarios para poderlo desarrollar en espacios como: sistemas de control y comunicación, optativa profesional a través de laboratorios y prácticas realizadas a través en este proceso.

Es de suma importancia reconocer la relevancia que tienen los sistemas de comunicación y su aporte a la tecnología, no solo mejorando el avance en el área de las telecomunicaciones principalmente, sino en el mejoramiento de la calidad de vida de las personas.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

Desarrollar un protocolo de señalización de rutas de evacuación para emergencias, que incluya a las personas con discapacidad visual y/o auditiva, por medio de un sistema de sensores, alarmas sonoras y lumínicas con diferentes frecuencias, intensidades y patrones principalmente de salones y pasillos, que pueda ser programado para habilitar y deshabilitar las rutas pertinentes dependiendo del tipo de emergencia que se presente.

### **Objetivos específicos:**

- Diseñar y probar un protocolo de comunicación entre dispositivos Xbee® basado en la estrategia tipo enjambre.
  
- Implementar un enjambre de máximo 4 puntos para comprobar su funcionamiento.
  
- Determinar los parámetros físicos empleados en los estímulos de excitación de personas con discapacidad visual y/o auditiva.
  
- Determinar qué intensidades, colores y patrones lumínicos son más viables para ser utilizados dentro de las edificaciones.

## METODOLOGÍA

Durante el proceso para la realización y culminación del proyecto de grado, se debía seleccionar una metodología que estuviera acorde con las necesidades y requerimientos de éste, así que, después de hacer una revisión de varios tipos de metodología se decidió trabajar con una metodología cíclica que permitiera estar en constante revisión de los pasos que esta conlleva, por tal motivo, se dispuso la elección de la metodología Earle que es una de las metodologías de diseño, puesto que facilita la investigación, diseño e implementación de cada punto que contiene el sistema. Esta metodología cuenta con 6 pasos que son: Identificación del problema, ideas preliminares, perfeccionamiento del problema, análisis, decisión y realización.

A continuación, se dará una la explicación de cada uno de los pasos.

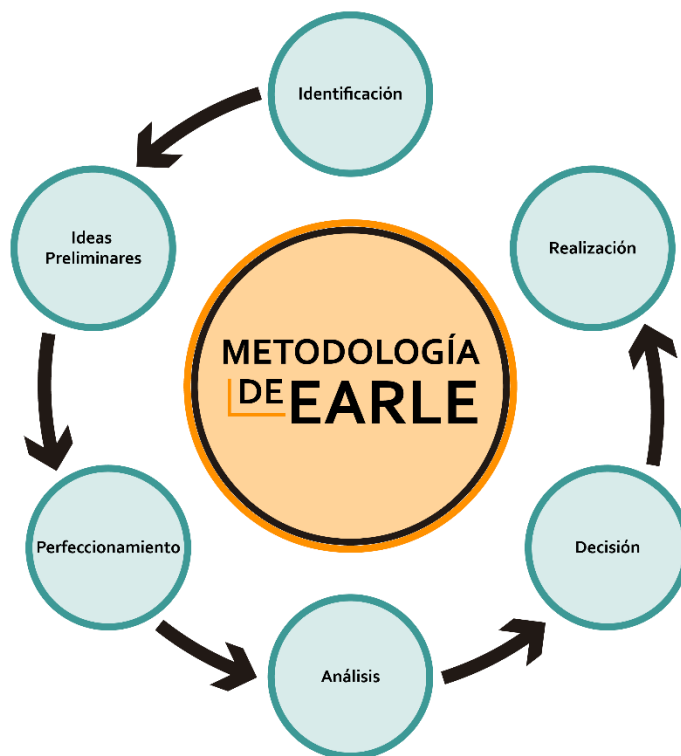


Figura 1. Diagrama metodología Earle.

Seguido de este diagrama, se procede a hacer la explicación de cada uno de los pasos que rigen la elaboración del proyecto de grado para que el estudio y posterior análisis de cada una de las pruebas ejecutadas sean eficientes y claras.

## IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Es la etapa que da inicio a todo el proceso de elaboración del proyecto y sobre ella se sustenta toda decisión que se pueda tomar a lo largo del mismo. Parte con la identificación de una necesidad en particular y cómo el proyecto satisface esa necesidad. Para este caso, se tomó como punto de partida la observación personal sobre la falta de un sistema de evacuación para personas con discapacidad visual y su inexistente elaboración a través de la electrónica, que en este caso es la comunicación por radio frecuencia a través de los módulos Xbee® que posteriormente sería corroborado mediante la búsqueda de literatura sin resultados favorables para la implementación de este sistema en ninguna edificación de la Universidad Pedagógica Nacional y mucho menos en la ciudad de Bogotá, ya sea por parte de identidades privadas o públicas y que las edificaciones inteligentes existentes no cuentan con un sistema así dentro de sus múltiples avances tecnológicos para el mejoramiento de las distintas áreas que manejan o aprovechamiento de los recursos. A partir de esta necesidad se fueron forjando las primeras ideas preliminares que se verán en seguida.

## IDEAS PRELIMINARES

Como primera medida se consideró hacer un sistema alámbrico que recorriera todas las instalaciones de la edificación a tratar, pero por estética y abundancia en el cableado esta idea fue descartada. Esto da el primer paso para que se pensara en hacer un sistema inalámbrico, dentro de las posibilidades que se tomaron en cuenta estaba la utilización del wifi y la comunicación entre módulos individuales por radio frecuencia, pero entre costos y solidez del sistema, se decidió trabajar con radio frecuencia, el siguiente paso fue la búsqueda de dispositivos transceiver o transceptores que se ajustaran al presupuesto económico y cumplieran con las demandas requeridas para hacer la correcta comunicación, en este caso tipo enjambre y que tuvieran facilidad de manejo para su diseño y construcción.

Luego se tuvo que pensar en la elección de un circuito integrado que cumpliera con las capacidades de ser programado para las tareas específicas que se requerían. De nuevo, que estuviera entre los rangos presupuestales pactados con anterioridad y que fuera de fácil manejo para la optimización del diseño y posterior construcción. Dentro de las posibilidades que se barajaron estuvieron microcontroladores de Microchip, Atmel, Teensy y Arduino, dando como resultado final la elección de este último gracias a accesibilidad, su facilidad de programación, y bajos precios.

Seguido de esto, se eligieron las posibles emergencias a las cuales el sistema debería responder, de esta forma se resolvió trabajar con sensores de gas y de humo porque los escapes de gas y los incendios son una de las emergencias más comunes y más propensas a suceder.

Por último, para las ideas preliminares, se tuvieron en cuenta varios patrones y secuencias de encendido de luces y bocinas para la posterior implementación y muestra, sumado a esto los rangos de frecuencias que se deben manejar para tener un sonido reconocible por las



personas con discapacidad visual y las intensidades de luz para las personas que en las emergencias dadas puedan tener afectada su visibilidad.

No obstante, el presente proyecto de grado está enfocado más hacia la parte de comunicación entre los dispositivos transceptores, esto abre las puertas a que se empiecen a generar otras investigaciones dentro de la Universidad Pedagógica en cuanto al desarrollo y posibles mejoras de implementación que este proyecto pueda tener a futuro motivando a más grupos de estudiantes a seguir esta línea de investigación.

### PERFECCIONAMIENTO DEL PROBLEMA Y ANÁLISIS

Para esta etapa de la metodología, se realizaron diferentes pruebas, algunas de ellas simuladas. Primero de comunicación entre dispositivos y su comportamiento, seguido de pruebas con los sensores para gas y humo, y programación de varias secuencias de encendido y apagado de luces y bocinas con distintas intensidades y frecuencias, con el fin de ir perfeccionando constantemente la utilización de los elementos finales. De la misma manera, el trabajo escrito ha sido modificado a lo largo de cada procedimiento.

Durante las pruebas el método mayormente utilizado fue el de ensayo y error ya que a través de este se puede configurar las respuestas deseadas dependiendo del grado de proximidad que los resultados de cada simulación y montaje vaya entregando y así poder obtener la finalidad requerida.

## DECISIÓN Y REALIZACIÓN

Son las etapas finales dentro de la metodología usada y, por ende, son las más trascendentales puesto que gracias a las pruebas y análisis de los pasos anteriores, se tomarán las decisiones finales en cuanto a procedimientos, uso de elementos, conexiones, parámetros seleccionados, programación de software y diseño de hardware, que serán el resultado final del sistema en general su apariencia y funcionalidad.

Dentro de la metodología seleccionada para el presente proyecto de grado, también se cuenta con 3 etapas adicionales. La primera o inicial es la revisión bibliográfica, en dónde, por un lado, se hace un análisis de documentos técnicos y normativos sobre los protocolos de la comunicación entre dispositivos Xbee®. Por otro lado, acerca de la escucha binaural, procesamiento de sonidos y manipulación de frecuencias.

La segunda etapa se refiere a la selección de componentes electrónicos adecuados para el diseño y construcción del sistema en general, cada uno de sus puntos y que sea de fácil acceso para reemplazar algún componente si es requerido en algún momento. Paralelo a esto se utilizarán técnicas directas como la encuesta a diferentes personas acerca de la pertinencia de un sistema de evacuación de este tipo, si están de acuerdo con el enfoque que tiene y qué sonidos les parecen agradables para la escucha y así tener un referente a la hora de seleccionar las frecuencias y patrones que serán usados finalmente.

Por último, la tercera etapa trata sobre el diseño de la estructura física, los materiales seleccionados y la forma que va a tener para ser implementado.

## ANTECEDENTES

Para la construcción de este trabajo de grado, se hizo una revisión de la literatura en universidades como la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de los Andes y la Universidad Javeriana por medio de sus respectivas bases de datos en internet y la revisión de otros textos. Actualmente no hay un texto que trate específicamente el tema de evacuación por medio de sonidos para personas con discapacidad visual. Se encontraron textos técnicos y normativos acerca de sistemas de megafonía para aplicaciones de evacuación y emergencia realizados por el Dr. Juan j. Nogales García Director Zona Sur del Honeywell Life Safety Iberia, eso, por un lado.

Por otro lado, el Instituto Nacional para personas Ciegas INCI no ha brindado información aún sobre este tipo de sistemas de evacuación, pero sí de sistemas que ayudan a evacuar a las personas por medio del lenguaje Braile y de materiales que presentan diferentes texturas, parecidos a la lija.

El Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías división de electrónica y computación, ubicada en Guadalajara, México. Desarrolló un documento haciendo una explicación de cómo funcionan los semáforos para personas discapacitadas visualmente, explicando el diseño, la ubicación y su funcionamiento con especificaciones técnicas sobre los dispositivos emisores de sonidos que trabajan con 9V de alimentación, 1-2KHz de frecuencia y 8W de potencia de salida de audio.

También se halló un trabajo de tesis de maestría de la Universidad Politécnica de Valencia llamado “Procesador de sonido y estudio de métodos para la generación de audio 3D en tiempo real” desarrollado por Pablo Bedito Botella en donde se explica en la primera parte la teoría de la holofonía del sonido, sistemas de referencia y determinación del ángulo lateral (azimut). Esto explica cómo las personas oyen y determinan la cercanía de una fuente de generación del sonido por medio del ángulo de elevación entre la persona y la posición de la fuente.

Por último, En 2005 el miembro de la Asociación internacional de los técnicos e investigadores de la bomba IABTI por sus siglas en inglés David Hyché, construyó huevos electrónicos audibles, que se componen de un interruptor, un beeper piezoeléctrico, una batería de 9 voltios y un gran huevo de plástico con un costo total de alrededor de \$ 11.50 US por huevo, con el fin de que su hija Rachel con discapacidad visual pudiera participar en el evento de pascua realizado cada año en los Estados Unidos.

## CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

La situación de las personas con discapacidad visual dentro de la Universidad Pedagógica Nacional según la licenciada en educación especial Rocio Alvarado trabajadora del programa de Tiflogía está repartida de la siguiente manera:

La institución alberga 21 estudiantes entre totalmente discapacitados visualmente y parcialmente discapacitados visualmente, distribuidos así: 14 de ellos en Educación Especial, 3 en Lenguas y 1 en Psicopedagogía, estos habitualmente frecuentan las instalaciones de la sede principal en la calle 72, por otra parte, en la sede del Nogal hay 3 estudiantes pertenecientes a Música.

*Tabla 1. Distribución de personas con discapacidad visual UPN*

<i>Licenciatura</i>	<i>Número de Personas</i>
Educación especial	14
Lenguas	3
Psicopedagogía	1
Música	3

En caso de emergencia, como desastres naturales y como es común los desórdenes públicos que son frecuentes en la universidad; estos estudiantes cuentan con el apoyo de sus compañeros y funcionarios para el momento de la evacuación en donde los funcionarios coordinadores son los jefes y responsables de cada una de las secciones de la universidad y son los encargados del monitoreo de estas personas. Sumándose a ello, también tienen el apoyo de los trabajadores de la Universidad que se encuentren libres que están capacitados para prestar ayuda cuando sea necesario, llevándolos a los puntos de encuentro y zonas seguras estipuladas,

como lo son, la cancha entre el bloque A y el Bloque B, la cancha del Bloque C y la plazoleta de eventos del centro comercial Avenida Chile como se muestra en la siguiente figura:



*Figura 2. Puntos de encuentro Universidad Pedagógica Nacional*

Según la licenciada, a pesar de que las personas cuentan con este apoyo hace falta mejorar el sistema de evacuación para estos casos, ya que hay situaciones en las cuales estas personas tienen que hacer la evacuación de manera autónoma e individual y con el caos que se genera en este tipo de situaciones es muy factible que se desorienten o sufran de inconvenientes para poder evacuar de manera efectiva.

El sistema de evacuación a ser implementado constará básicamente con 3 etapas, la primera de ellas será la activación que se hará por medio de Radio Frecuencia en donde un operador da inicio al funcionamiento a través de un mando enviando una señal a un dispositivo receptor que a su vez genera la inicialización de las demás etapas.

La segunda etapa contará con elementos que generen la programación necesaria para cumplir con las tareas requeridas de lectura de señales, envío y recepción de datos y configuración de reprogramación de rutas dependiendo del punto en donde se localice la emergencia, en este caso microcontroladores programables configurados específicamente para que cumplan esta función y manipulen los diferentes datos a ser utilizados.

La tercera etapa será la de señalización, que es la encargada de establecer las secuencias y patrones tanto visuales como auditivas, utilizadas para el sistema.

Cada piso de las edificaciones contará con un sonido y una duración en el tiempo especial que servirá para la localización de la persona discapacitada visualmente y así mejorar los tiempos de evacuación generando un camino seguro guiado por este sistema en una serie de check points.

La etapa de señalización ya mencionada anteriormente será por medio de sonidos y luces, esto quiere decir que los sonidos generados pueden ser oídos sin necesidad de algún objeto adicional y por todas las personas que se encuentren en ese momento dentro de la instalación. Se hará de esta manera ya que las personas con discapacidad visual según estudios de la Universidad de Montreal “la corteza visual de las personas ciegas los ayuda a reconocer mejor las notas y el origen de los sonidos. El surco superior temporal es usado para reconocer las voces humanas, adjudicando en segundos el sexo, edad, estado emocional y social de la persona. En los ciegos esta parte del cerebro funciona aún más que en el resto de las personas”. (Silveira, K. (2012). *Los ciegos oyen mejor: ¿Mito o Realidad?* Recuperado el 3 de noviembre de 2014 de <http://www.ojocientifico.com/5495/los-ciegos-oyen-mejor-mito-o-realidad>.)

En un experimento realizado por esta misma universidad en el cual aceleraron una frase por medio de un programa de computadora, se pudo establecer que las personas con

discapacidad visual oyen hasta 25 sílabas por segundo, gran diferencia con las personas normales que solo llegan a oír entre 6 y 10 sílabas. (Silveira, 2012).

Por otra parte, el grupo de la doctora Brigitte Röder de la Universidad Philipps de Marburgo ha descubierto que las diferencias en el cerebro de las personas con discapacidad visual favorecerían a éstos al procesar la información mucho más rápido que los no ciegos.

Según expresa MedCon Health Contents (2010)

“Los investigadores encontraron que las zonas situadas en la parte posterior del cerebro, que normalmente participan en el proceso de la visión, son asumidas en parte por células que procesan la información. Este resultado confirma la teoría que la pérdida de la vista conduce a una mejor capacidad auditiva. Las reacciones de cerebros de ciegos y videntes escuchando oraciones, en los cuales la última palabra tenía sentido o también no tenía ningún sentido. Los científicos observaron las ondas cerebrales de las personas de prueba cuando éstas decidían si la oración tenía sentido o no. La señal cerebral que se activa cuando el cerebro analiza las palabras es conocida como la ‘señal N400’. En los videntes esta señal se presenta aproximadamente 150 milisegundos después de haber escuchado la oración. En cambio, los ciegos solo requirieron la mitad de este tiempo. Además, se mostró que los ciegos pueden localizar mejor las fuentes de sonido y pueden retener mejor lo escuchado”. (*El oído reemplaza la visión*. Recuperado el 3 de noviembre de 2014 de <http://www.mifarmacia.es/producto.asp?Producto=../contenido/noticias/noticia%20los%20ciegos%20mejor>).

Sumado a esto, la percepción sonora está dada por la escucha binaural. “La manera en que el ser humano percibe el sonido depende del hecho físico de que cuenta con dos oídos. La escucha binaural es la responsable de la percepción (detección) de la dirección del sonido, y



además el oído sabe cuándo escucha su canto o no (sonido) por eso el oído tiene ese conducto que lo lleva al caracol.” (Wikimedia INC. (2010). *Percepción sonora*. Recuperado el 4 de noviembre de 2014 de [http://es.wikipedia.org/wiki/Percepci%C3%B3n\\_sonora](http://es.wikipedia.org/wiki/Percepci%C3%B3n_sonora)).

Esto quiere decir que el oído humano puede identificar e independizar un sonido en específico dentro de un conjunto de los mismos, un ejemplo claro de esto está en una orquesta donde las personas pueden identificar y aislar el sonido de un instrumento en especial. Para que esto se cumpla se debe tener una serie de consideraciones que se darán a continuación teniendo en cuenta la revisión bibliográfica mencionada anteriormente dentro de los antecedentes encontrados:

Pablo Benedito Botella (2012) hace hincapié en que, para poder determinar la ubicación de una fuente sonora en el espacio, el sistema auditivo utiliza un conjunto de postas que es necesario situar dentro de un sistema de coordenadas vertical-polar ya que como la cabeza se aproxima a una esfera se puede utilizar como origen el centro de ella y el azimut. Sabiendo esto, la superficie del azimut son planos a través del eje Z y las superficies de elevación constante son conos concéntricos alrededor del este eje.

A continuación, se mostrará una figura con esta explicación:

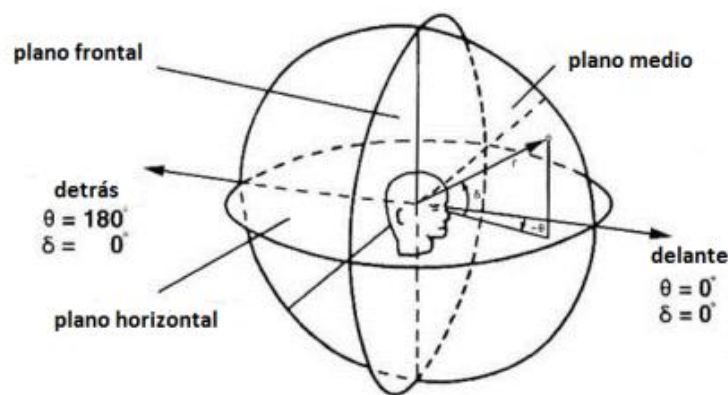


Figura 3. Detalle de la definición del sistema de coordenadas vertical-polar. Benedito Botella, P. (2012). *Procesador de sonido y estudio de métodos para la generación de audio 3D en tiempo real*. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia, España.

Más adelante Pablo Botella expresa (2012)

“No se puede determinar la dirección de llegada de un sonido cotidiano con el alto grado de precisión que se obtienen en los cálculos con tonos puros. La naturaleza compleja de los sonidos, es debida a que el espectro de frecuencia se extiende sobre la mayor parte del rango audible, por lo que la diferencia entre niveles de intensidad y fases pueden ser utilizadas simultáneamente para localizar la procedencia del sonido. Así que, para un caso práctico de localización de un sonido natural, para frecuencias altas (por encima de los 1000 Hz), la localización se debe fundamentalmente a las diferencias de intensidad, mientras que para las bajas frecuencias (menos de 800 Hz) la localización es debida a las diferencias de fase o tiempo de retardos en ambos oídos”.

Tomando otro punto de referencia, podemos encontrar los requerimientos técnicos para un sistema de perifoneo dado por Juan J. Nogales García. Director zona sur del Honeywell Life Safty Iberia explicado a continuación:

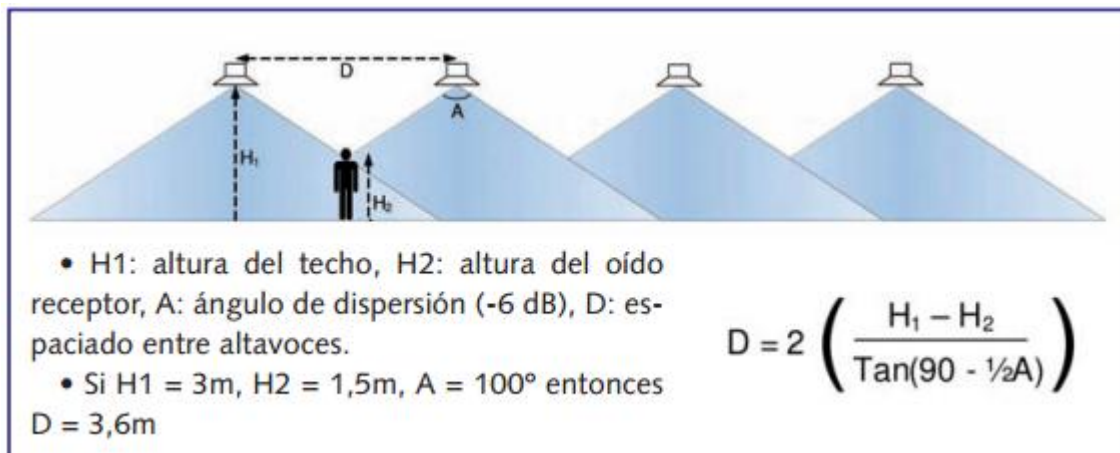


Figura 4. Espaciamiento de un sistema de perifoneo. (Nogales García, J. (2008). Los sistemas de megafonía para aplicaciones de evacuación y emergencia. Prevención de incendios. Recuperado el 24 de abril de 2016 de <http://www.morley-ias.es/desdocumentacion/morley/noticias/articulos/megafonia2.pdf>

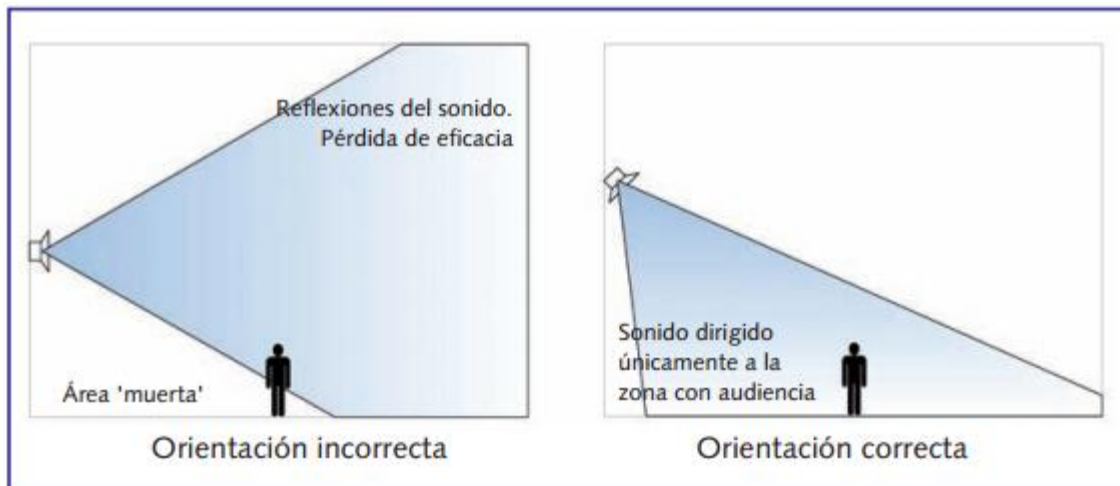


Figura 5. Orientación de un sistema de perifoneo. (Nogales García, J. (2008). *Los sistemas de megafonía para aplicaciones de evacuación y emergencia. Prevención de incendios*). Recuperado el 24 de abril de 2016 de <http://www.morley-ias.es/desdocumentacion/morley/noticias/articulos/megafonia2.pdf>

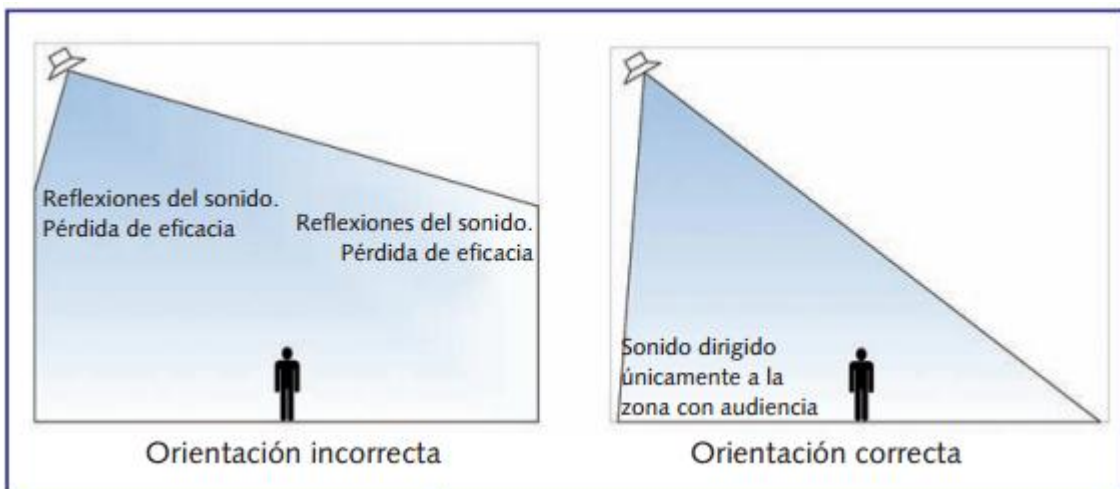


Figura 6 Ángulo de dispersión del altavoz de un sistema de perifoneo. (Nogales García, J. (2008). *Los sistemas de megafonía para aplicaciones de evacuación y emergencia. Prevención de incendios*). Recuperado el 24 de abril de 2016 de <http://www.morley-ias.es/desdocumentacion/morley/noticias/articulos/megafonia2.pdf>

El desarrollo de esta investigación tendrá como soporte teórico el paradigma de foreperiod studies que “Estudia la influencia de aquellas señales de aviso que actúan para alertar al sujeto y dé una respuesta veloz ante la llegada de un estímulo imperioso (Bertelson. (1996). Niemi y Naatanen. (1981). Sevilla, 1991, p.13).

Esto se ve reflejado en que el sistema de evacuación emitirá los sonidos por medio de bocinas que actúan como estímulo para que las personas con discapacidad visual tengan una reacción frente a ellas, en este caso la toma de decisiones para caminar y seguir el trayecto indicado sonoramente a través del edificio. Esta acción por medio de simulacros y acciones repetitivas hará que estas personas adquieran un mayor reconocimiento del entorno en donde se desempeñan.

## **CAPÍTULO 2: DISEÑO ELECTRÓNICO**

### **Selección de componentes**

El proceso que se llevó a cabo para la cimentación de este proyecto ha sido demorado, trabajoso y de cuidado. Gracias a su complejidad, a lo largo de la construcción se han realizado diferentes pruebas y ensayos que a la larga han servido para realizar distintas modificaciones que han estado en constante retroalimentación para la finalización del este proyecto de grado.

Para continuar se desprenden las características y justificaciones de los elementos seleccionados y empleados para la elaboración de este proyecto.

Los primeros componentes seleccionados para trabajar son los que cumplen la función de comunicación por radio frecuencia, dentro de los transceptores están los dispositivos Xbee® que finalmente fueron los seleccionados; pero dentro de esta gama hay una variedad de subcategorías con series diferentes de acuerdo a su evolución y actualidad, dependiendo de su serie varían las características de software y hardware y para ello se hará una tabla comparativa entre ellos y así explicar más detalladamente el Xbee® seleccionado.

Tabla 2. Módulos Xbee® y sus características

<i>Módulo Xbee</i>	<i>Características</i>
XBee 1mW Antena Cable - Serie 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3.3V @ 50mA</li> <li>• 250kbps máxima velocidad de datos</li> <li>• 100m rango línea abierta, 30m en interiores</li> <li>• Antena Plenamente certificada por la FCC</li> <li>• Configuración local o por aire</li> <li>• AT o API comando de configuración</li> </ul>
XBee 2mW Antena Cable - Serie 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3.3 @ 40mA</li> <li>• 250kbps máxima velocidad de datos</li> <li>• 120m rango de línea abierta, 40m en interiores</li> <li>• Antena Plenamente certificada por la FCC</li> <li>• Set de comandos AT o API</li> </ul>
XBee Pro 900 Antena Cable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3.3V @ 210mA</li> <li>• Rápido 156 Kbps RF velocidad de datos</li> <li>• Hasta 6 millas (10 km) los RF con antenas de alta ganancia</li> <li>• Cable como antena</li> </ul>
Xbee PRO 50mW antena serie 2.S 1500m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltaje 3.3V @ 50mA</li> <li>• Rango 1 milla (1500m)</li> <li>• Antena Integrada tipo cable Certificación FCC</li> <li>• Puertos de entrada 6 10-bit ADC Posibilidad de configuración con AT o API</li> </ul>
Xbee PRO serie 2B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltaje 3.3V @ 295mA</li> <li>• Velocidad de datos 250kbps</li> <li>• 1 milla (1600m)</li> <li>• Conector RPSMA</li> <li>• 8 pines I/O digitales</li> <li>• Conjunto de comandos AT o API</li> <li>• Antena externa obligatoria</li> </ul>

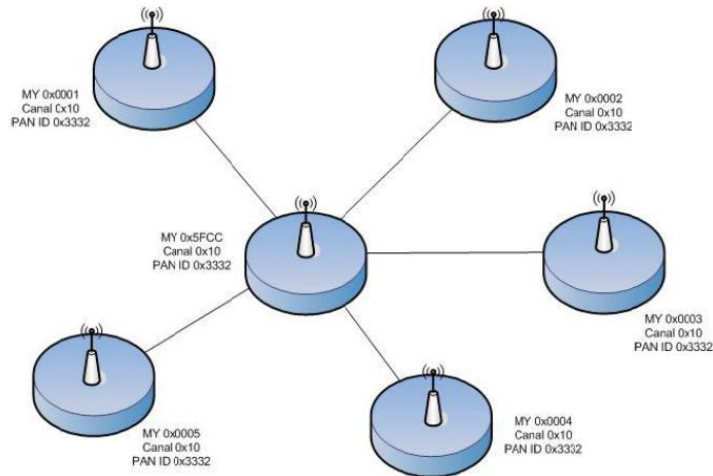
Teniendo en cuenta las características requeridas para tener un óptimo funcionamiento del sistema en general, pero en específico la etapa de comunicación y el presupuesto establecido se resolvió optar por la última opción, el módulo Xbee PRO serie 2B ya que como se muestra en seguida cumple con la topología necesaria para este proyecto.



Xbee® Family Features Comparison										
Protocol	Product	Frequency	Description	RF Line of Sight Range	Form Factor	MSRP	RF Data Rate	Current Draw Tx/Rx	Hardware	Certified Regions
IEEE 802.11	Xbee® Wi-Fi	2.4 GHz	Wi-Fi 802.11b/g/n with easy provisioning, native Device Cloud features	N/A	Through-hole, SMT	\$35.00	1 to 72 Mbps	300 mA / 100 mA	S6B	US, CA, EU, AU, JP
IEEE 802.15.4	Xbee® 802.15.4	2.4 GHz	Best way to get started with point-to-multipoint device connectivity	300 ft / 90 m	Through-hole	\$19.00	250 Kbps	45 mA / 50 mA	S1	US, CA, EU, AU, BR, JP
		2.4 GHz	Point-to-multipoint extended range version	1 mile / 1.6 km		\$32.00	250 Kbps	215 mA / 55 mA	S1	US, CA, AU, BR
		2.4 GHz	International/"J" variant	2500 ft / 1 km		\$32.00	250 Kbps	S1	US, CA, EU, AU, BR, JP	
Multipoint Proprietary	Xbee-PRO® XSC	900 MHz	Long-range proprietary multipoint connectivity	9 miles / 14.5 km	Through-hole	\$39.00	10 Kbps or 20 Kbps	215 mA / 26 mA	S3B	US, CA, AU
		868 MHz	Long-range multipoint for Europe	25 miles / 40 km		\$45.00	24 Kbps	500 mA / 65 mA	S5	EU

Figura 7. Módulo Xbee PRO S2B y topología de conexión.

Ahora bien, una vez seleccionado el módulo sobre el cual se basa la comunicación, el siguiente paso es definir la forma en que se iban a comunicar e ir dándole forma al protocolo final, para ello se indagó sobre las posibles formas en que éstos módulos pueden ser conectados entre ellos y se encontró la posibilidad de hacerlo para este trabajo de grado con el modelo punto a multipunto o estrella que será explicado a continuación.



*Figura 8. Configuración punto a multipunto.*

Este modelo cuenta con un coordinador y una serie de routers conectados a él, cada router recibe la información suministrada por el coordinador y el coordinador recibe la información enviada por cada router, de esta manera se empezaron a llevar a cabo las pruebas con estos módulos, configurando el PAN ID que es la dirección única y específica sobre la cual va a trabajar esa red, la velocidad de transmisión con que se hará la conexión y los parámetros de cada módulo para trabajar en modo punto a multipunto con el fin de tener un coordinador y tres routers.

La configuración y primeras conexiones entre los módulos, se realizaron por medio del programa XCTU que es el programa propio para estas labores, y a través del terminal se realizaron las primeras pruebas que serán detalladas más adelante en el capítulo 3: pruebas piloto y pruebas finales. Hay que recordar que para poder conectar los módulos al computador se requiere la utilización de la tarjeta Xbee Explorer que es una unidad de base de serial a USB y a través de ella es posible la programación de cada módulo.





*Figura 9. Xbee explorer.*

Para estas pruebas, se realizaron varios ejercicios de distancia sobre el rango que los módulos podían cubrir, dando como resultado un alcance sin pérdida de datos de aproximadamente 50 metros lo cual da como sentado que es una distancia más que suficiente para la continuidad del proyecto.

Siguiendo con la hoja de ruta trazada, el siguiente paso fue seleccionar el microcontrolador que sustente el proyecto y como se mencionó anteriormente se optó por el Arduino UNO. Se seleccionó este Arduino ya que es el más común utilizado para este tipo de proyectos y cumple con todas las exigencias del proyecto sin mencionar el bajo costo con que se puede encontrar en el mercado. Adicionalmente el lenguaje de programación que maneja permite realizar las operaciones y procesos que se necesitan de una manera más rápida y fácil, optimizando así tiempos y tareas a resolver, también porque a lo largo de la carrera fue utilizado con bastante frecuencia en materias como Optativa y Sistemas de Control, así que se tiene un conocimiento bastante amplio sobre las funciones que éste elemento puede cumplir y las tareas que se pueden implementar y realizar.



*Figura 10. Microcontrolador Arduino UNO.*

Con el Arduino se empezaron a hacer pruebas básicas como la utilización de los pines análogos y digitales como entradas y salidas para observar su funcionamiento, posteriormente se pasó a hacer pruebas de comunicación por el puerto serial con distintas características y los 4 Arduinos para los 4 puntos funcionaron correctamente dando vía libre para empezar a hacer el ensamblaje de los distintos elementos en un solo sistema.

Con este orden de ideas, el siguiente paso fue interconectar los módulos Xbee® con los Arduinos, para ello se trabajaron dos posibilidades, la primera era realizar circuitos impresos para los módulos y por medio de jumpers hacer las conexiones respectivas entre los pines de comunicación (transmisión Tx y recepción Rx), sumado a esto habría que realizar un circuito aparte de regulación de voltaje ya que como se mostró en la tabla de características de estos módulos, trabajan a un voltaje de 3.3. La segunda posibilidad era la de hacer la interconexión por medio de la tarjeta Xbee Shield que está específicamente diseñada para este tipo de conexiones y la gran ventaja que tiene es que elimina la creación del circuito de regulación para la alimentación de los módulos, esta ventaja fue la principal razón para seleccionar esta opción ya que por comodidad se puede ahorrar en tiempo y en posibles errores que puedan surgir a la hora de construir un circuito impreso.

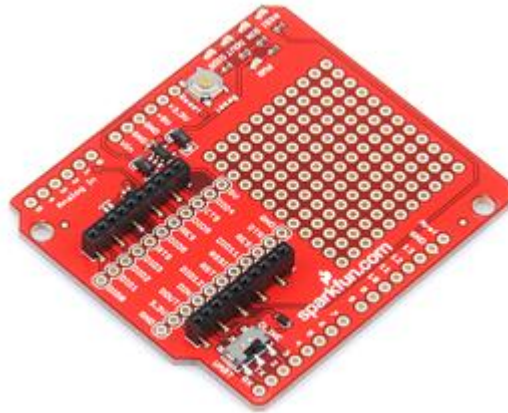


Figura 11. Tarjeta Xbee Shield.

Una vez superada esta etapa, habiendo realizado las pruebas de comunicación por el puerto serial y posteriormente de manera inalámbrica de envío y recepción de datos de manera efectiva y óptima había que comenzar la parte de inclusión de los sensores de gas y de humo para ello dentro de la selección de componentes se encontró un dispositivo que realizaba las dos operaciones, de esta manera se escatima en el uso de pines de lectura análoga por parte del Arduino, teniendo más espacio para realizar más procedimientos. El sensor escogido fue el MQ2 de DFROBOT la nueva versión ya que tiene un cambio frente a la antigua en cuanto a pines de alimentación.

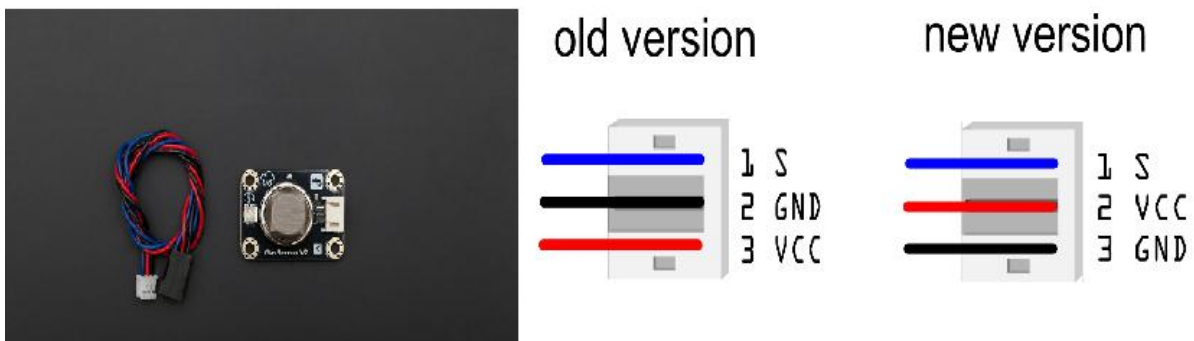


Figura 12. Sensor de gas y de humo MQ2 antigua y nueva versión.

Antes de incorporar el sensor a los dos elementos anteriores se hicieron una serie de pruebas elementales para observar su comportamiento y así ir ajustando los valores adecuados para posteriormente tenerlos en cuenta a la hora de ir unificando todos los elementos e irle dando robustez y forma al sistema general. Al ser integrado el sensor al sistema junto con los módulos Xbee® y los Arduinos®, se empezaron a elaborar pruebas con los tres elementos en cuanto a medición de variables y envío de las mismas por comunicación serial de cada router al coordinador para su posterior análisis y con estos resultados proceder a tomar las decisiones correspondientes para el desarrollo de lo que debe realizar el sistema con cada elemento integrado.

El siguiente paso a seguir es el de la selección sobre los diferentes patrones de sonido que se iban a utilizar para implementar la última etapa, para ello se tenían 6 secuencias diferentes de notas musicales que se construyeron por medio del software de descarga libre AUDACITY. Luego de este paso, se decidió realizar concluir cuáles secuencias serían las implementadas y usadas finalmente.

Los sonidos implementados se dividen en 3 secuencias distintas repartidas en 2 etapas, la primera etapa es la de activación, esta suceda cuando alguno de los routers percibe una señal de humo o de gas y envía este dato al coordinador, éste luego de analizarlo envía la orden de activación a los 3 puntos. La segunda etapa es la de señalización, cada router replicará la segunda secuencia indicando el camino que debe seguir la ruta de evacuación hasta el punto más seguro que tendrá la tercera secuencia indicando que en ese lugar se encuentra la salida o un punto libre de peligro.

A continuación, se mostrará una tabla con las notas utilizadas y cada una de sus frecuencias para generar los sonidos utilizados en la construcción del sistema.

Tabla 3. Notas utilizadas para la construcción del sistema.

<i>Etapa</i>	<i>Secuencia de notas musicales</i>	<i>Frecuencias</i>
<b>Activación</b>	Sol (G6) y Do (C6)	G6: 1567Hz y D6:1046Hz
<b>Señalización de ruta</b>	La(A5) y La(A6)	A5: 879Hz y A6:1759Hz
<b>Señalización punto final</b>	Mi (E6) Sol (G6) y Do (C6)	E6: 1318Hz G6: 1567Hz y C6:1046 Hz

Seguido de esta tabla tenemos el programa hecho en AUDACITY dónde se muestra de manera gráfica las secuencias ya descritas anteriormente.

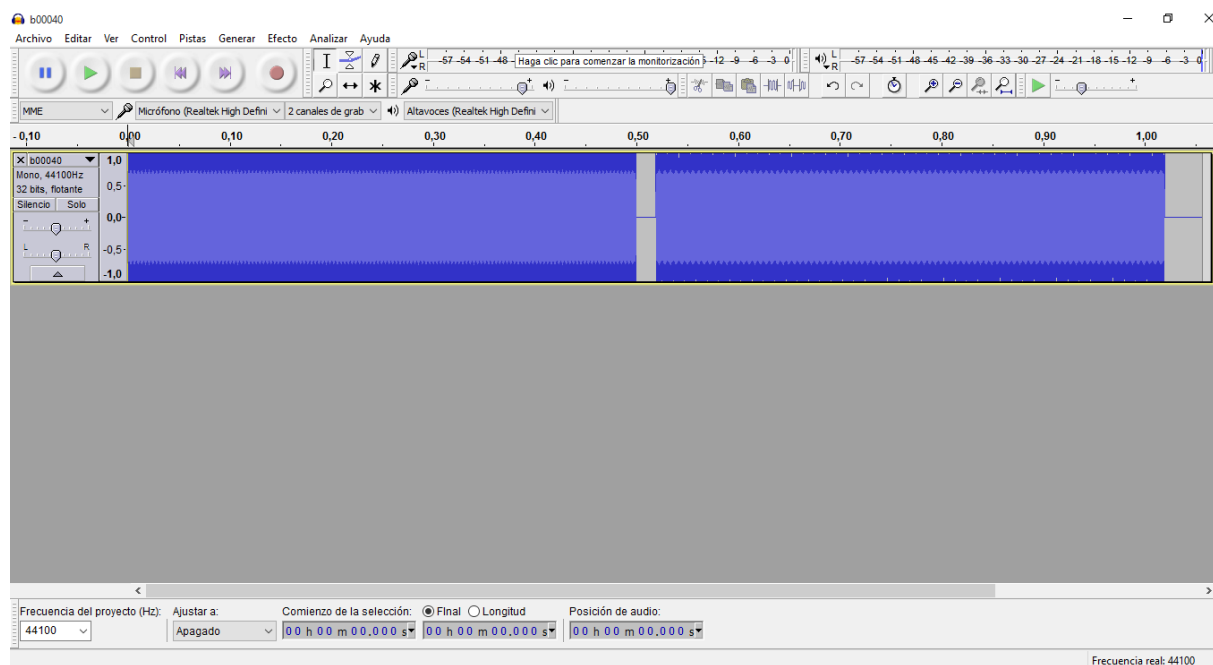


Figura 13. Programa en AUDACITY señal de activación Sol(G6) y Do(C6).

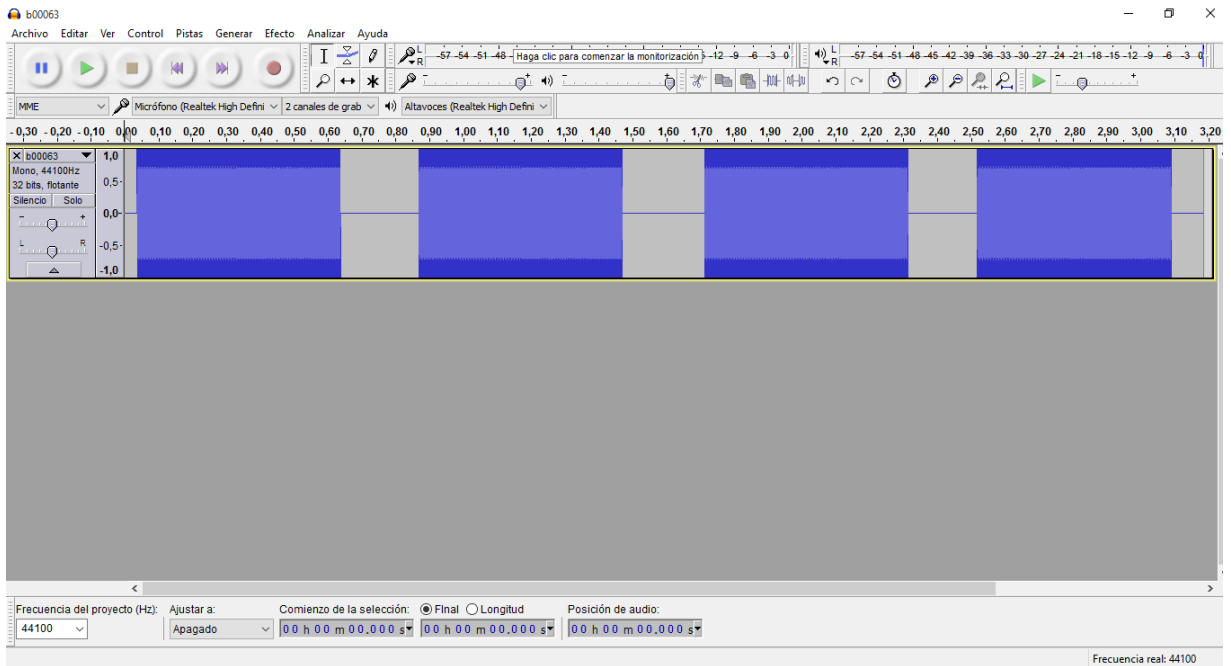


Figura 14. Programa en AUDACITY señal de ruta La(A5) y La(A6).

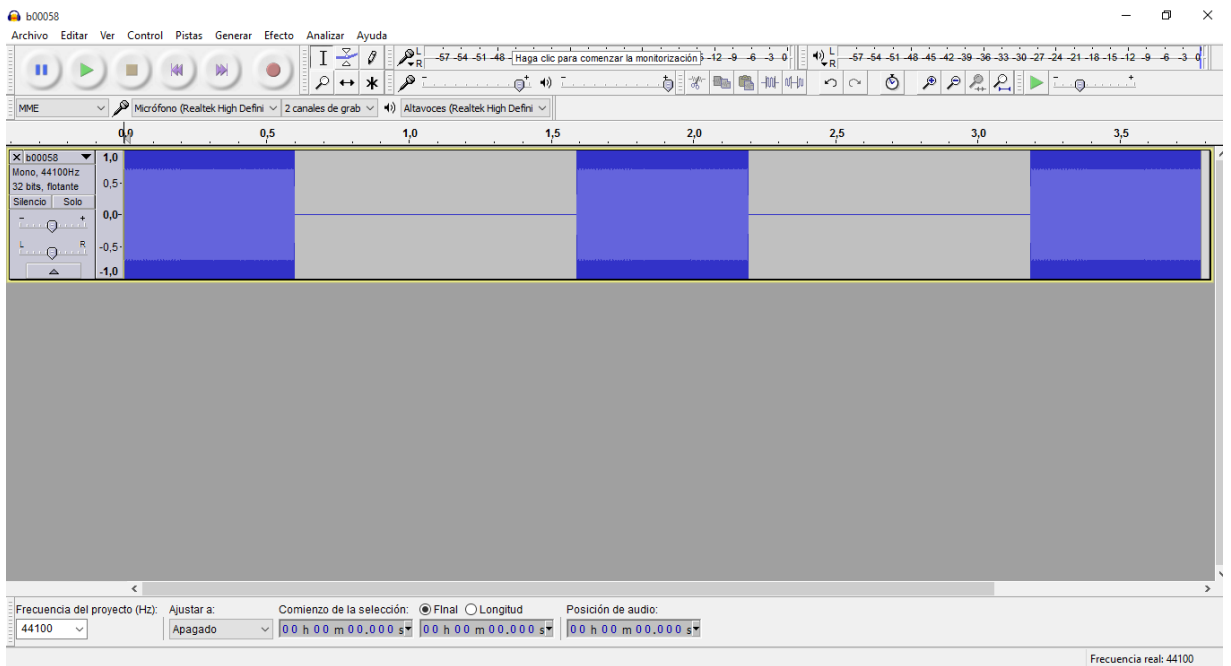


Figura 15. Programa en AUDACITY señal punto final Mi (E6) Sol (G6) y Do (C6).

A continuación, se puede observar la duración en milisegundos de cada sonido que será el tiempo estipulado para el desarrollo del sistema.

Tabla 4. Duración de cada nota en milisegundos.

<i><b>Etapa</b></i>	<i><b>Secuencia de notas musicales</b></i>	<i><b>Duración(ms)</b></i>
<b>Activación</b>	Sol (G6) y Do (C6)	Sol (0ms a 0.50ms) intervalo (0.50ms a 0.508ms) Do (0,508ms a 1.0ms) intervalo (1.0 a 20.17ms)
<b>Señalización ruta</b>	La(A5) y La(A6)	La A5 (0ms a 0.30ms) La A6 (0.30ms a 0.60) intervalo (0.60ms a 0.83)
<b>Señalización punto final</b>	Mi (E6) Sol (G6) y Do (C6)	Mi E6 (0ms a 0.20ms) Sol G6 (0.20ms a 0.40ms) Do C6 (0.40ms a 0.60ms) intervalo (0.60ms a 1.594ms)

Habiendo seleccionado los rangos sonoros el paso a seguir es la reproducción de los mismos, para ello, dentro de varias opciones en las que se contemplaron etapas de potencia por medio de transistores y circuitos integrados se decidió optar por la tarjeta ISD 1820 que ya trae esta etapa incorporada. La ventaja que esta tarjeta posee es que tiene un micrófono integrado, el cual permite grabar y reproducir las secuencias hechas en AUDACITY. De igual manera se realizó el paso de programación en Arduino de las secuencias anteriores para así tener las dos formas implementadas por si en algún momento alguna de las dos llega a fallar.



Figura 16. Tarjeta ISD 1820 grabación y reproducción de sonidos.

### Diseño del montaje de cada elemento

En lo que concierne al diseño del montaje de cada elemento y su integración con los demás, primero se realizaron unos montajes virtuales antes de pasar a hacer los montajes físicos. Para ello, se utilizó el software FRITZING, que es especializado para la automatización de diseños y su paso de prototipos a productos finales. Está basado especialmente en los principios de Processing y Arduino y permite realizar de manera más fácil diseños basados en esta tarjeta y su posterior circuito impreso.

Primero se hizo un breve esquema de cómo deben ir los Arduinos conectados al computador por medio del XCTU para realizar las primeras pruebas de comunicación con el modelo punto a multipunto



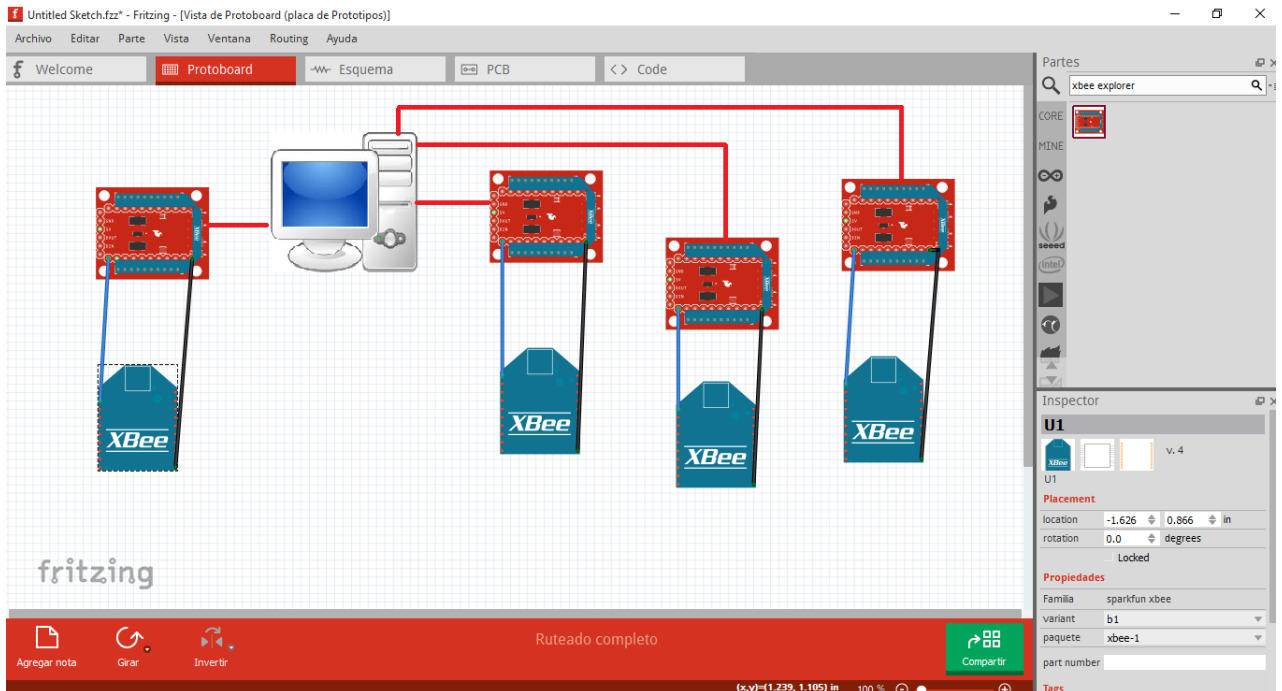


Figura 17. Montaje en Fritzing de los módulos Xbee.

Luego de tener el modelo de conexión de los Xbee® se prosiguió a hacer el montaje virtual del coordinador trabajando desde el XCTU y los routers conectados al Arduino como se muestra en la siguiente figura.

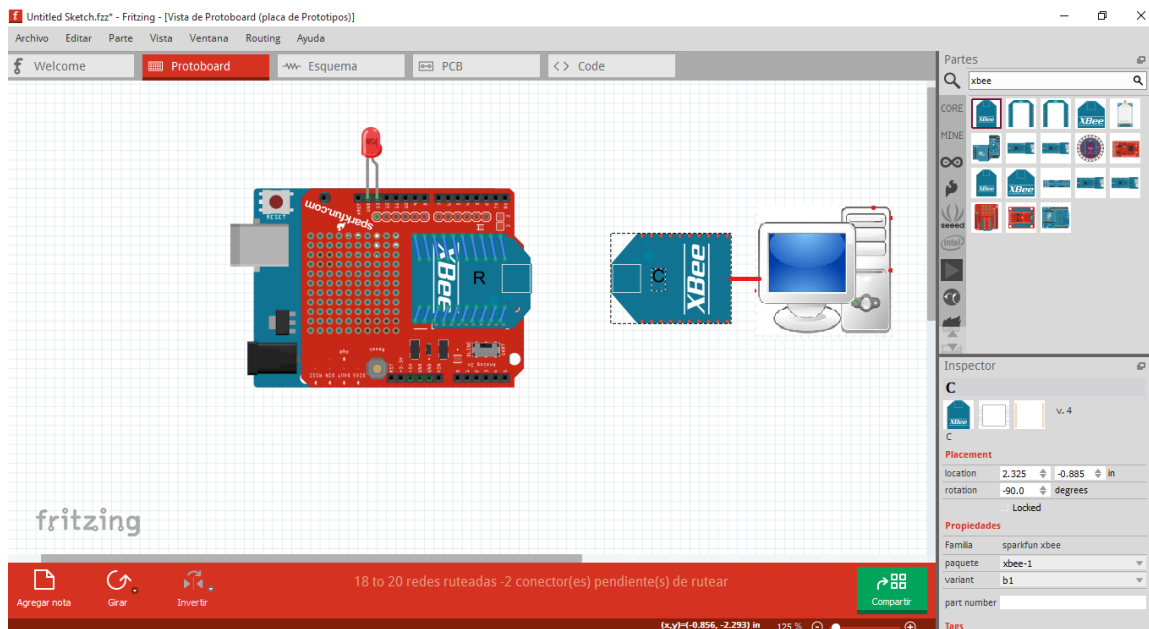


Figura 18. Montaje en Fritzing coordinador router.

Este montaje posteriormente se realizó en físico con el fin de hacer pruebas de comunicación serial inalámbrica y tener un tráfico de datos óptimo sin la pérdida de los mismos, también se realizaron pruebas de alcance como se mencionó anteriormente y que será especificado en el siguiente capítulo.

Siguiendo con el orden secuencial de incorporación de elementos descrito previamente, el siguiente paso a seguir fue hacer el montaje virtual con el sensor de humo y de gas añadido al montaje anterior.

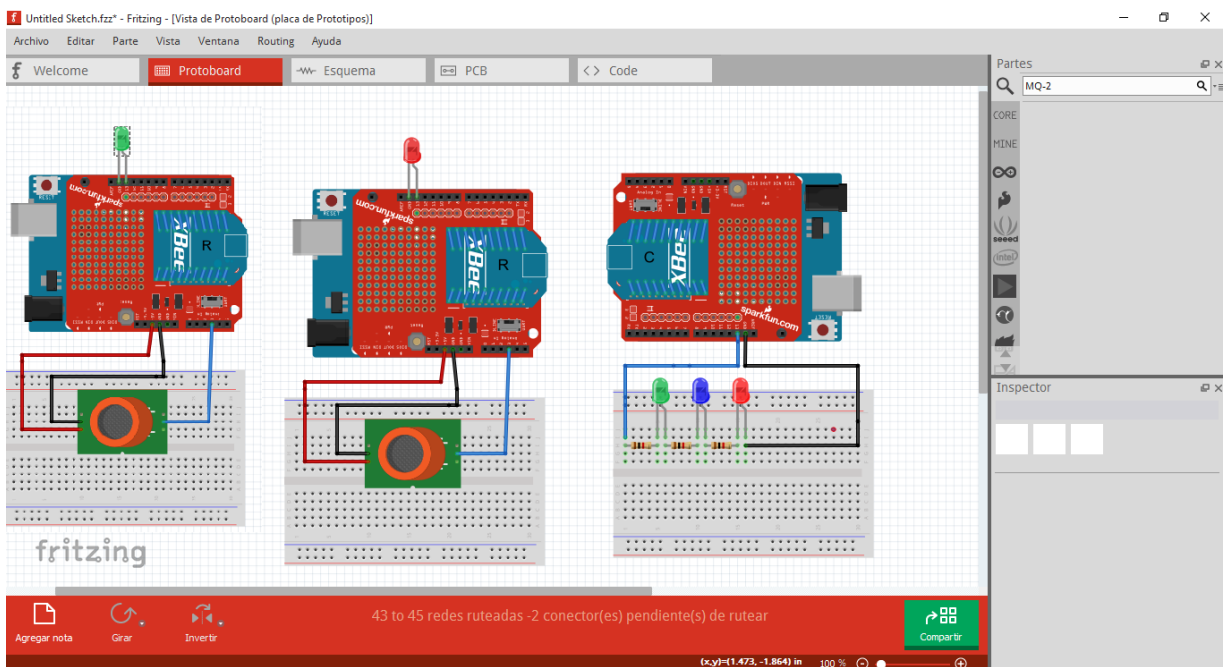


Figura 19. Montaje en Fritzing Sensor MQ2.

En este paso, el coordinador pasa de estar conectado del XCTU a hacer parte de la conexión con Arduino, de esta manera como se ve en la ilustración, recibe los datos enviados por los router y luego de analizarla y a través de los leds de diferentes colores se puede establecer de que router son los datos que están llegando, así se puede establecer de mejor forma cual es

la decisión que el sistema en general deberá tomar para la ejecución del siguiente paso que es la de señalización de rutas.

Para el último paso, se añade el parlante al sistema, este con el fin de reproducir los sonidos ya estipulados previamente y así completar todas las etapas que serán armadas con los dispositivos reales y empezar a realizar todas las pruebas de conexión y programación requeridas para finalizar el proyecto con su funcionalidad completa.

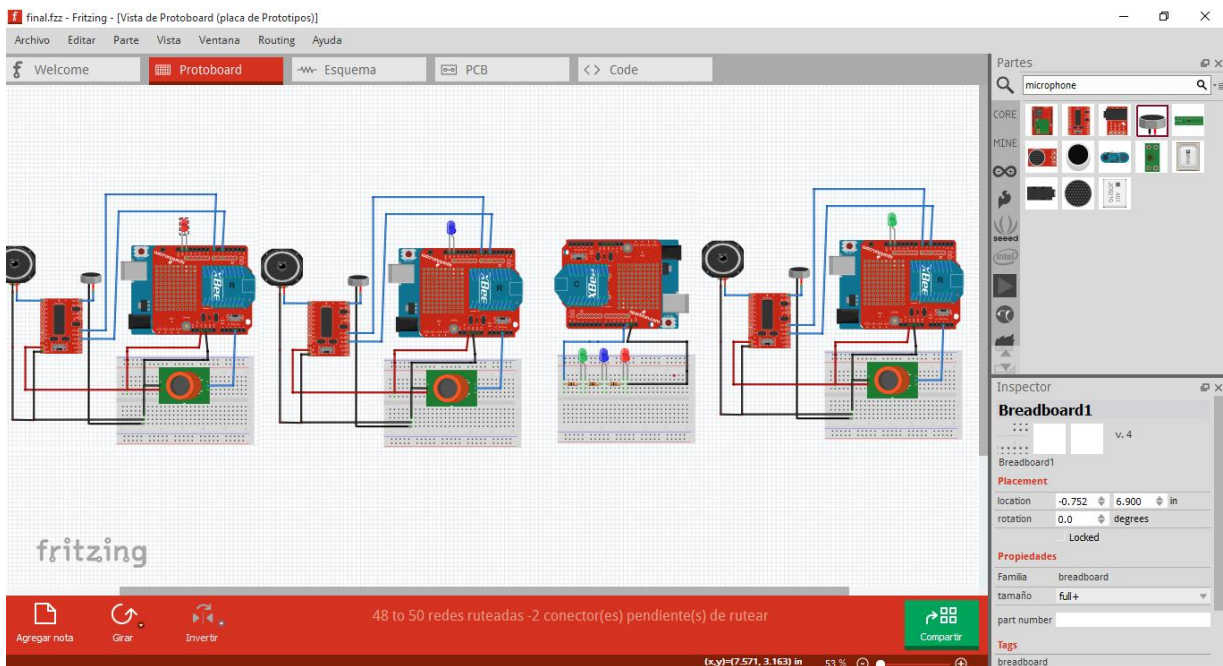
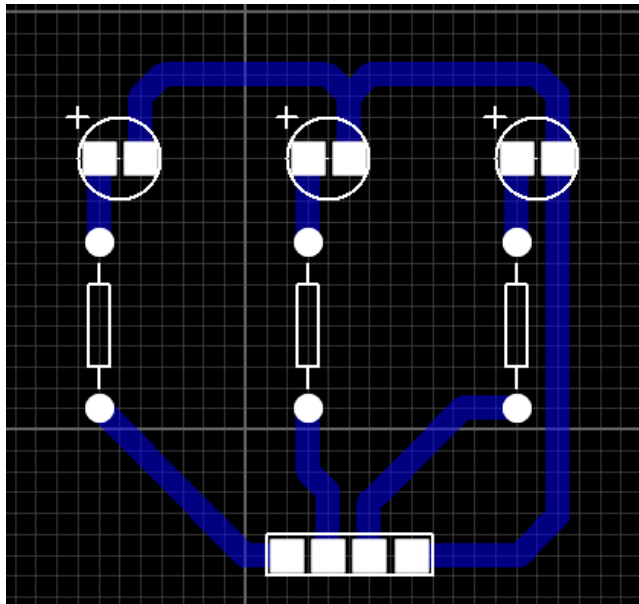


Figura 20. Montaje final en Fritzing de todas las etapas Coordinador y Routers.

## Circuito impreso

Para este trabajo de grado sólo se necesitó hacer un circuito impreso para la parte del coordinador en donde por medio de 3 led's conectados en serie desde el Arduino se sabe que router o punto está enviando la información ya que cada uno de ellos representa cada uno de los puntos. El diseño se hizo por medio del programa Proteus 8.

El diseño del circuito impreso se muestra posteriormente.



*Figura 21. Diseño del circuito impreso de los 3 led's conectados en paralelo.*

### **CAPÍTULO 3: PRUEBAS PILOTO Y PRUEBAS FINALES**

Como se ha venido mostrando a lo largo de este escrito, el proceso para trabajar siempre ha sido el mismo, es decir, se lleva una secuencia de acuerdo a las etapas de este proyecto de grado. Para las pruebas piloto y finales realizadas se respetó este mismo orden el cual está dado por:

- Módulos Xbee ® encargados de la comunicación inalámbrica.
- Arduino como centro de operaciones.
- Xbee Shield con función de articulación.
- Sensor de gas y de humo MQ2.
- Tarjeta de voz y audio ISD1820 distribución de perifoneo.

#### **Módulos Xbee®**

Dentro de las pruebas realizadas con estos módulos se realizaron varias configuraciones de parámetros, para ello se debía tener en cuenta los números característicos de cada módulo dados por el fabricante y los números dados personalmente para este proyecto, estos números son:

- ID – PAN ID
- SH – Serial Number High
- SL – Serial Numer Low
- DH – Destination Address High
- DL – Destoination Address Low
- NI – Node Indentifier
- BD – Baud Rate

En la siguiente tabla se muestra los números característicos de cada módulo (coordinador y routers).

*Tabla 5. Números característicos de cada módulo Xbee®.*

<i>Números</i>	<i>Coordinador</i>	<i>Punto 1</i>	<i>Punto 2</i>	<i>Punto 3</i>
	<i>C</i>			
<b>PAN ID</b>	8620	8620	8620	8620
<b>SH</b>	13A200	13A200	13A200	13A200
<b>SL</b>	40F16482	40D220E5	40F16473	40D61A13
<b>DH</b>	0	0	0	0
<b>DL</b>	FFFF	0	0	0
<b>NI</b>	CENTRAL	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
<b>BD</b>	3	3	3	3

Los números dados por el fabricante son: SH y el SL. Los números personales para este proyecto son: PAN ID que representa el número personal sobre el cual va a estar trabajando la red, este número puede ir desde 0000 hasta FFFF, DH que para el caso de la comunicación punto a multipunto debe ir en 0, DL que para este mismo caso solo el coordinador debe configurarse con FFFF ya que abarca todos los routers conectados a esta red, NI que es una etiqueta que se le da al módulo para asuntos de identificación y organización y BD que para este caso es 3 que representa 9600 baudios, velocidad con que se desarrolla la comunicación.

Con estos datos cargados a los módulos y a través del terminal del XCTU se empezaron a realizar pruebas de comunicación dando como resultado positivo la conformación de la red punto a multipunto, donde el coordinador envía datos y todos los routers conectados a la red reciben esta información. En contraste, sólo el coordinador recibe la información suministrada por cada uno de los routers.

Para iniciar el proceso de comunicación es necesario ingresar dos comandos AT en el terminal correspondiente al coordinador:

- +++ activa el módulo coordinador.
- ATND que es el comando para preguntarle al coordinador con cuáles routers está conectado.

Esta actividad se muestra a continuación.

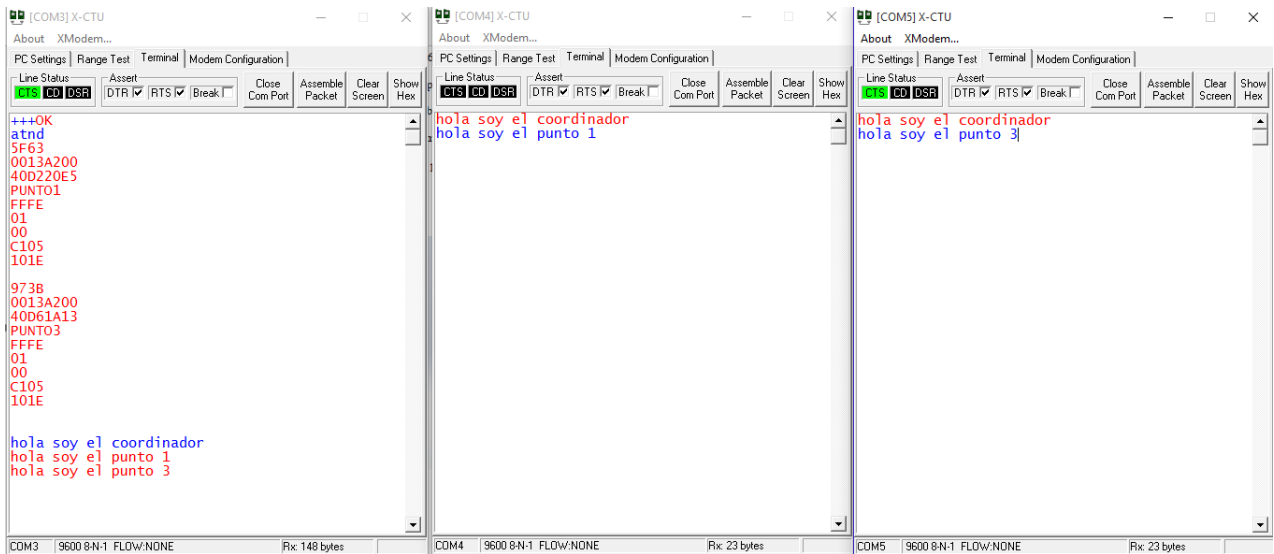


Figura 22. Comunicación punto a multipunto a través del terminal del XCTU.

## Arduino y Xbee Shield

Una vez solucionado el problema de la comunicación entre los módulos Xbee® la siguiente prueba a realizar fue mantener esta comunicación, pero ya articulados los módulos con los Arduinos y las Xbee shield. Para esto se dejó el coordinador conectado al terminal XCTU y los routers pasaron a integrarse a los otros dos elementos. Como prueba piloto se realizó un programa en el cual se enviaba el caracter de la letra “a” a través del terminal y los puntos por medio del Arduino deberían encender un led con la siguiente secuencia:

- Punto 1: encender de inmediatamente el led y apagarlo a los dos segundos.
- Punto 2: encender el led después de dos segundos de haberse enviado la letra “a” y apagarlo 2 segundos después.
- Punto 3: encender el led 4 segundos después y apagarlo a los dos segundos.



Figura 23. Secuencia de prueba comunicación inalámbrica enviando la letra “a” a través del XCTU.



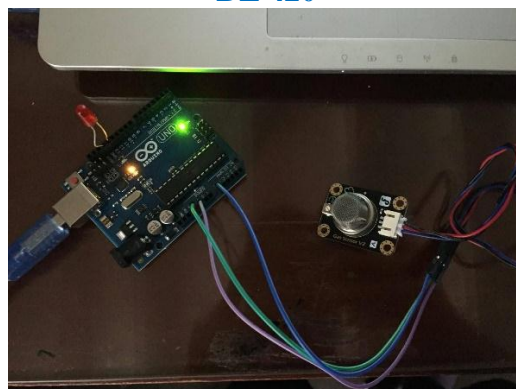
## Sensor de gas y de humo MQ2

Las pruebas adelantadas con este sensor consistieron en utilizar el terminal serial del Arduino para visualizar los valores arrojados por la activación y posterior lectura del sensor. Así, con estos valores poder determinar en qué momento debe ser considerada la lectura como un inminente riesgo de emergencia y de esta manera activar el sistema en todas sus etapas.

El valor determinado como base para que la lectura otorgada por el sensor pueda considerarse como una situación de emergencia fue 420 como se expone enseguida.

```
COM10 (Arduino/Genuino Uno)
205
204
200
199
196
194
194
721
808
801
747
685
614
553
503
465
431
```

**LECTURA SENSOR POR DEBAJO DE 420**



**LECTURA SENSOR POR ENCIMA DE 420**

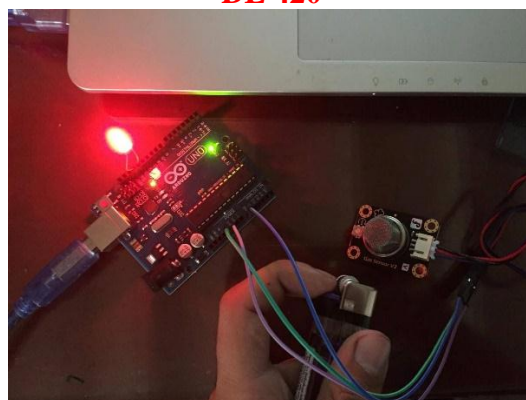


Figura 24 . Lectura de sensor de humo y gas MQ2.

## Tarjeta de voz y audio ISD1820

Para entender el funcionamiento de esta tarjeta se realizaron pruebas básicas de grabación y reproducción de sonidos, tanto de voz humana como reproducciones echas por algún dispositivo electrónico. Esta tarjeta no necesita de algún programa que debe ser cargado en el Arduino para su funcionamiento, basta con alimentarla para que se pueda trabajar y realizar las pruebas. A continuación, se muestra una tabla con las funciones principales que posee esta tarjeta.

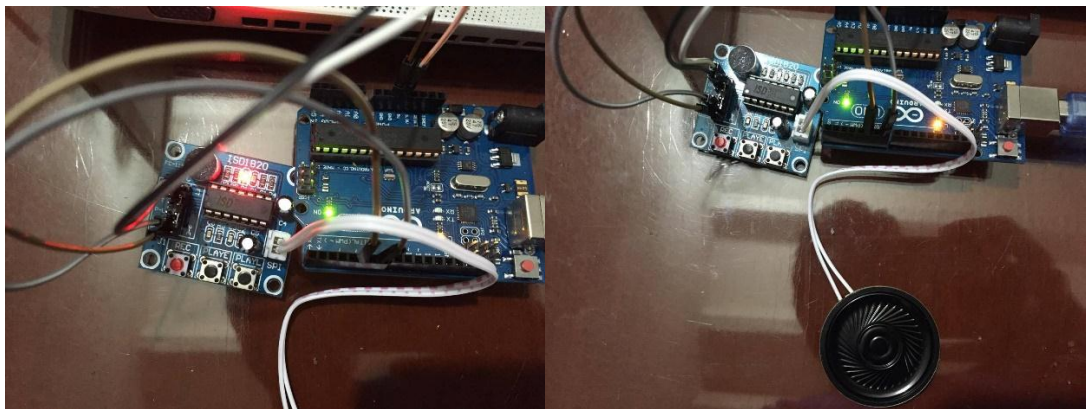
Tabla 6. Funciones ISD1820.

<i>Botón y/o pin</i>	<i>Función</i>
<b>Botón REC</b>	Pulse y mantenga pulsado el botón para grabar hasta 12 segundos de sonido
<b>Botón PLAYE</b>	Reproduce todo el contenido de esta grabación en la memore EEPROM
<b>Botón PLAYL</b>	Reproduce la grabación mientras se presiona el botón
<b>Led</b>	Se ilumina mientras el módulo está en modo de grabación y parpadea rápidamente al final de cada reproducción
<b>Micrófono de 12 pines</b>	Función de control, alimentación y funciones REP (repetición) y FT

La primera prueba que se ejecutó fue la de grabación y reproducción de la voz humana, esto se hizo por medio del botón de REC, grabando así un monólogo durante 12 segundos y por medio del botón PLAYE se reprodujo la totalidad de la grabación. Por otra parte, con el botón PLAYL se reprodujo la misma grabación, pero esta vez de forma segmentada. Luego de esto, se hizo el mismo procedimiento; pero esta vez grabando las secuencias utilizadas para el desarrollo del proyecto.

La segunda prueba consistió en hacer un programa en Arduino, con el fin de que grabara un sonido durante los mismos 12 segundos y después de hacer una pausa de 2 segundos reprodujera la grabación de manera automática. Esto se hizo con el fin de suprimir la acción de hacer la grabación y reproducción de manera manual oprimiendo los botones.

El montaje realizado se puede ver en la siguiente figura en donde se utiliza el Arduino como fuente de alimentación para la tarjeta.



*Figura 25. Montaje tarjeta ISD1820 y Arduino.*

## **Sistema general**

Articulando todos los elementos en el sistema en general y habiendo realizado las pruebas anteriores con cada uno de los elementos las siguientes pruebas a realizarse fueron las de funcionamiento de todo el sistema.

Para ello, cada router o punto fue ubicado en un lugar distinto simulando una especie de trayecto o camino. Al presentarse una emergencia en cualquiera de los puntos, el sensor correspondiente a este se activa y como se dijo en las pruebas anteriores si el valor de la lectura es mayor a 420 envía estos datos al coordinador, éste recibe esa lectura y analiza de cuál de los puntos esta llegando la información y por medio de unos led's que representan cada punto se sabe de cuál router es dicha información. Luego de saber cual router o punto es el que se activó, el coordinador envía la información de activación del sistema a todos los puntos incluido el primero en activarse. De esta manera al recibir la información suministrada por el coordinador los puntos activan las secuencia de luces y sonidos, esta última comienza con la secuencia de activación, seguida por la secuencia de señalización de ruta y el último punto reproduce la secuencia de punto final que indica que ahí acaba el trayecto.

De esta forma se obtiene el funcionamiento del sistema en general que recordemos cuenta con 4 puntos que simulan un trayecto a seguir dentro de una edificación. En este caso el edificio del Bloque B de la Universidad Pedagógica Nacional que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7. Distribución de puntos con los que cuenta el sistema.

<i>Punto</i>	<i>Asignación</i>
<b>Punto central</b>	Coordinador
<b>Punto 1</b>	Router 1
<b>Punto 2</b>	Router 2
<b>Punto final</b>	Router 3

Luego de definir el funcionamiento del sistema, a continuación se muestra cada uno de los puntos ya con todas las etapas incluídas.

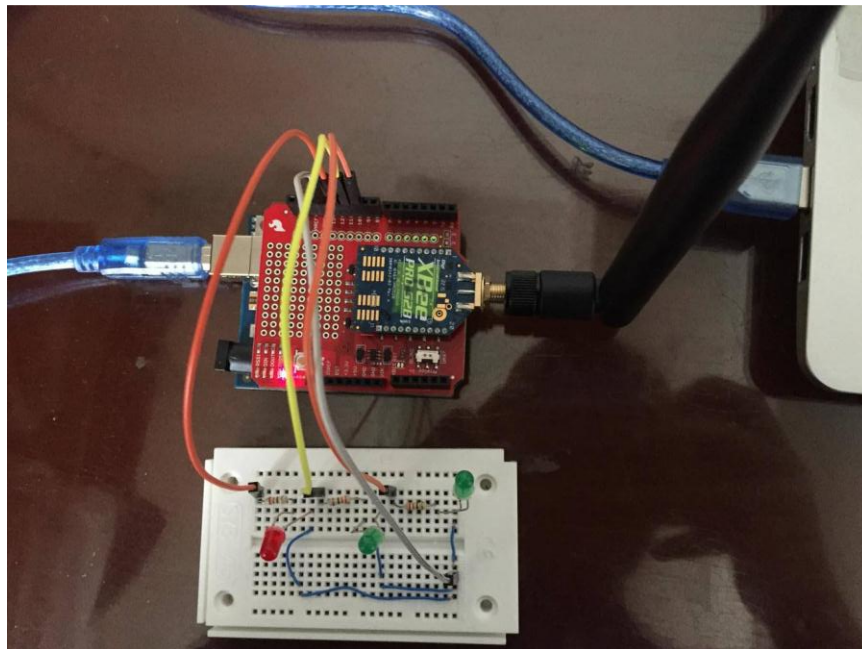
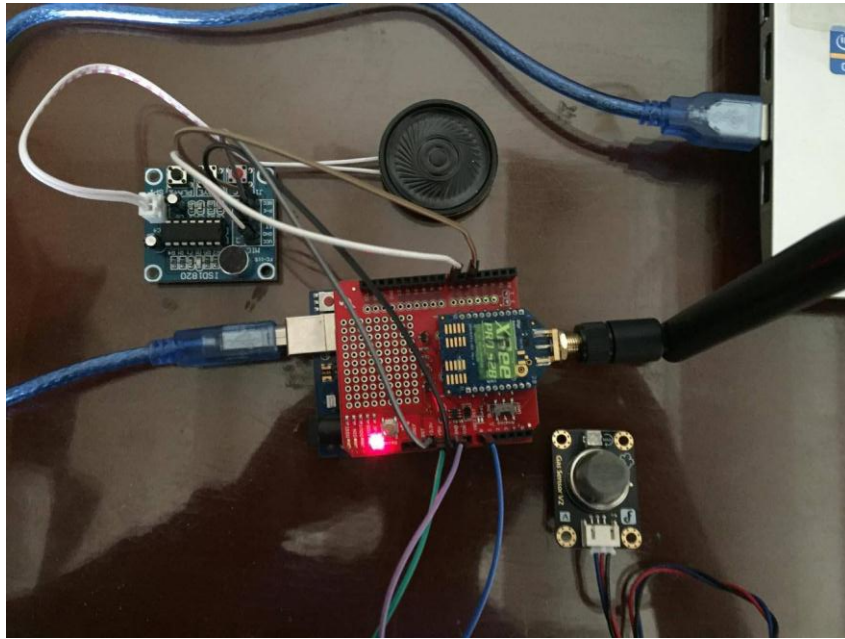


Figura 26. Montaje final Coordinador.



*Figura 27. Montaje final Routers.*

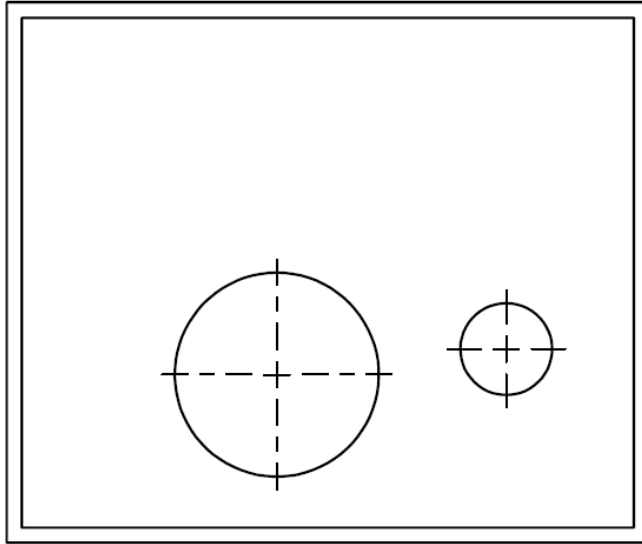
## **CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA**

La versión final de la estructura que va a contener los elementos y componentes se diseñó a través del software SolidWorks y se imprimieron las partes de esta por medio de la impresora Prusa i3 clone.

El primer paso a realizarse fue el diseño para la creación de la estructura final, para esto lo únicos aspectos de normatividad que se tuvieron en cuenta fueron los tratados en el capítulo uno: marco teórico en la parte de perifoneo dado que el sonido tiene que ir en dirección de arriba abajo. El otro aspecto a tener en cuenta para el diseño fue la posición del sensor de gas y de humo, este debería ser colocado en la parte inferior de la estructura ya que por lo general en situaciones de emergencia cuando el humo se hace presente este se propaga de abajo hacia arriba, de esta manera el sensor obtiene una mejor lectura.

El otros ítem de diseño fue la posición y colocación de la antena para los módulos Xbee®. Para este último, no se tuvo en cuenta alguna normatividad o reglamento simplemente se realizó de acuerdo a la consideración personal para la optimización de espacio y ordenamiento de los elementos con el fin de tener una estética agradable y de fácil entendimiento y acceso a cada uno de los diferentes componentes del sistema.

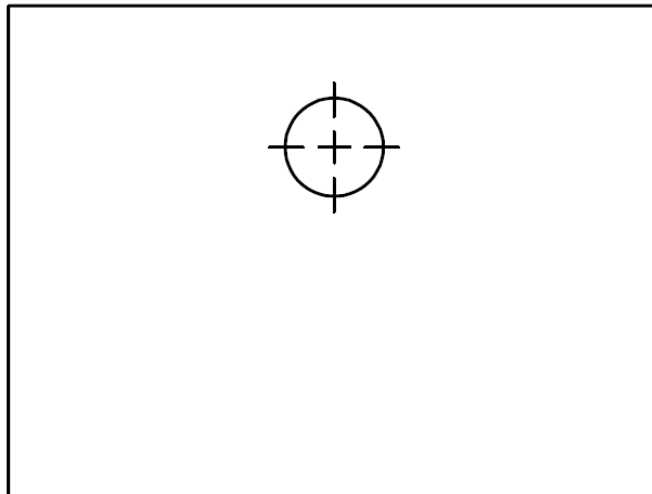
En seguida se mostrará la cara inferior de la estructura donde estará la parte de perifoneo y lectura por medio del parlante y sensor respectivamente.



*Figura 28. Orificios para el parlante y sensor de gas y humo.*

Como se puede apreciar y de acuerdo a los tamaños el orificio más grande es para la localización del parlante y el más pequeño para el sensor.

Continuando con el diseño, el siguiente paso fue realizar la cara lateral derecha donde iría el orificio para la antena mostrado a continuación.



*Figura 29. Orificios para la antena.*

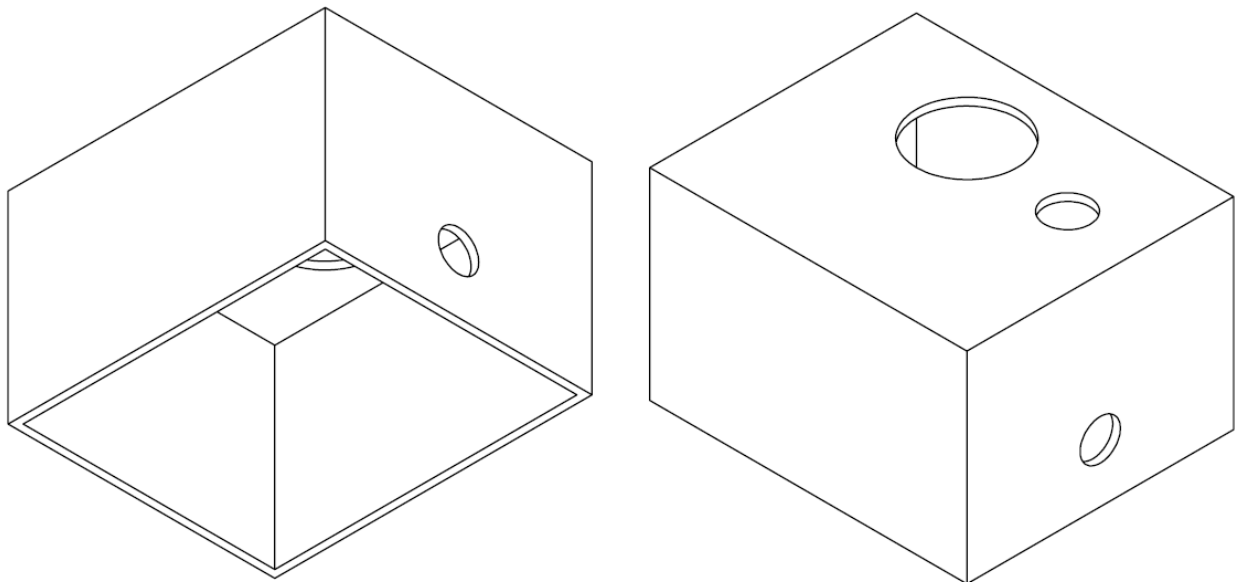


Las medidas de estos orificios serán mostradas en seguida.

*Tabla 8. Medidas de los orificios parlante, sensor y antena.*

<i>Orificio</i>	<i>Medida</i>
<b>Parlante</b>	4cm de diámetro
<b>Sensor</b>	1.8cm de diámetro
<b>Antena</b>	1.5cm de diámetro

Acto continuo se hace la visualización de la estructura general teniendo el isométrico visto desde arriba y desde abajo.



*Figura 30. Vista desde abajo y desde arriba de la estructura.*

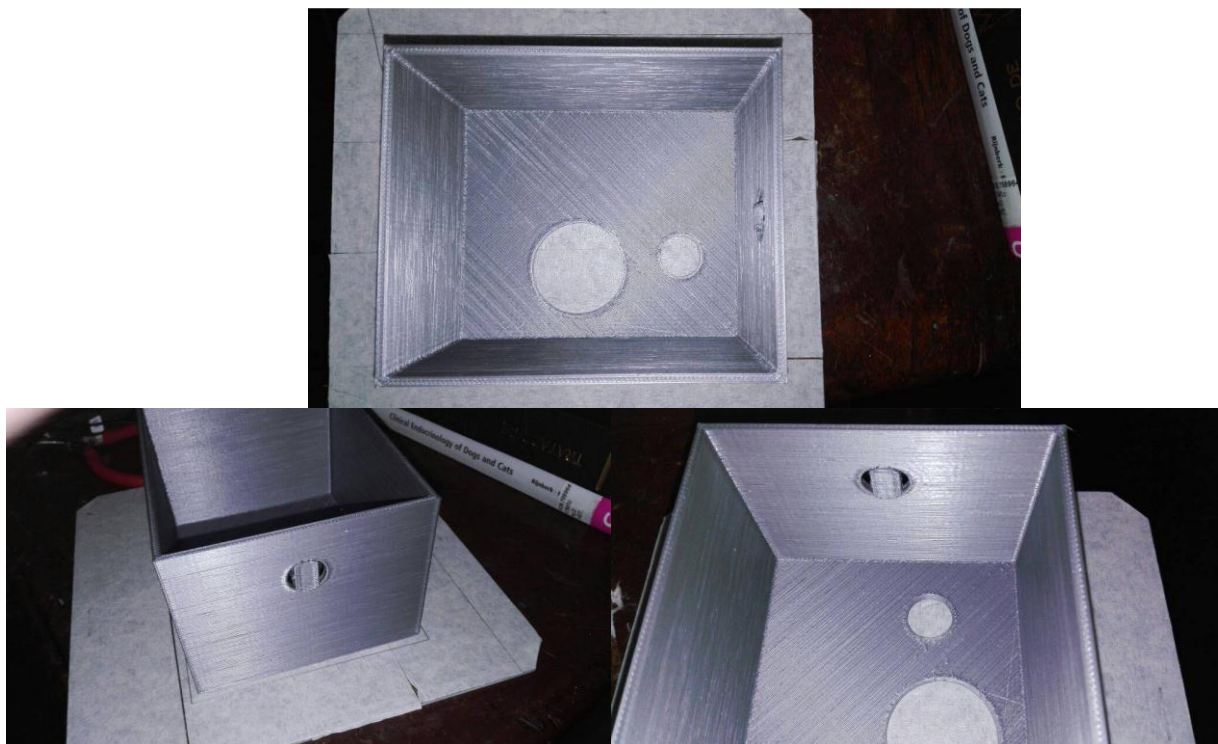
Luego de tener los diseños hechos, se realizó una prueba imprimiendo la cara inferior de la estructura para hacer el montaje del parlante y el sensor con el objetivo de visualizar si las

medidas con que se hicieron los orificios fueron correctas o de lo contrario corregir lo que sea necesario y así tener un empalme óptimo y correcto.



*Figura 31. Impresión cara inferior y empalme con el parlante y el sensor.*

Una vez hecha esta prueba se prosiguió a hacer la estructura de la base completa dando como resultado final el que se muestra a continuación.



*Figura 32. Estructura base terminada.*

Por último, se imprimió la tapa de la estructura en filamento PLA de color azul fluorescente, este permite alumbrar en la oscuridad. Se decidió realizarlo de esta manera ya que al alumbrar apoya la parte de iluminación con la que cuenta el sistema por medio de los led's y en caso de poca visibilidad durante una emergencia ayuda a la persona a encontrar la ruta estipulada.



*Figura 33. Tapa de la estructura.*

Como último paso se muestra a continuación la estructura final ensamblada.



*Figura 34. Estructura final terminada.*

## CONCLUSIONES

Esta parte del trabajo se dividirá en dos partes. Primero se hablará de los problemas encontrados durante la construcción del sistema y las vías halladas para solucionarlos y segundo se hablará de las conclusiones generales del sistema en sí.

Durante el proceso de construcción el primer obstáculo que se encontró fue la comunicación fallida entre los módulos Xbee® al ser integrados con el Arduino por medio de la Xbee shield, esto se debe a que en la Xbee shield se encuentra localizado un switch en donde en sus extremos se encuentran las opciones de DLINE y UART. Para que la comunicación sea exitosa el switch debe estar en UART Transmisor-Receptor Asíncrono Universal por sus siglas en inglés, ya que este modo es el que permite el control de los puertos y dispositivos para la comunicación serial que es la comunicación que se trabajó en este proyecto.

El siguiente obstáculo que se encontró durante el proceso de construcción fue la pérdida de datos en el momento de hacer las pruebas piloto al enviar el carácter de la letra “a”. Esto sucede porque se enviaba inmediatamente después de alimentar los módulos y era necesario reenviar el carácter. Revisando varias veces este proceso, se determinó que los módulos necesitan de un tiempo mínimo de 2 segundos para empezar a recibir órdenes y comenzar con la transmisión de datos.

Luego, durante las pruebas realizadas con la tarjeta ISD1820 y revisando el datasheet se encontró que el microcontrolador no posee la función de guardar la información grabada por él para su posterior desglosamiento y uso, por tal motivo la opción de grabar las secuencias hechas en AUDACITY directamente desde la tarjeta queda descartada. De esta manera la opción

a utilizar fue la de programar directamente las secuencias desde el Arduino por medio de un programa que ejecutara esta acción.

En la otra mano, se había estipulado que el proyecto iba a habilitar y deshabilitar las rutas pertinentes dependiendo del tipo de emergencia que se presente y los obstáculos generados por ellas. En este punto durante el proceso y luego de debatirlo con el asesor se llegó a la conclusión de que es más óptimo predefinir las rutas de evacuación tomadas por el sistema previamente ya que si lo hacemos de la manera como se planteó inicialmente la tarjeta Arduino iba a necesitar mayor capacidad de cómputo y eso haría que el sistema se volviera lento y poco eficiente puesto que las órdenes para decidir y actuar iban a desarrollarse de manera tardía haciendo al sistema inservible.

Otro punto de bastante importancia es que la red estimada para un funcionamiento de mayor eficiencia para los módulos Xbee® es configurar una red MESH ya que esta permite que haya tráfico de información entre módulos programados como routers, evitando así que toda la información deba pasar estrictamente por el coordinador, aspecto que no sucede en la red punto a multipunto trabajada en este proyecto.

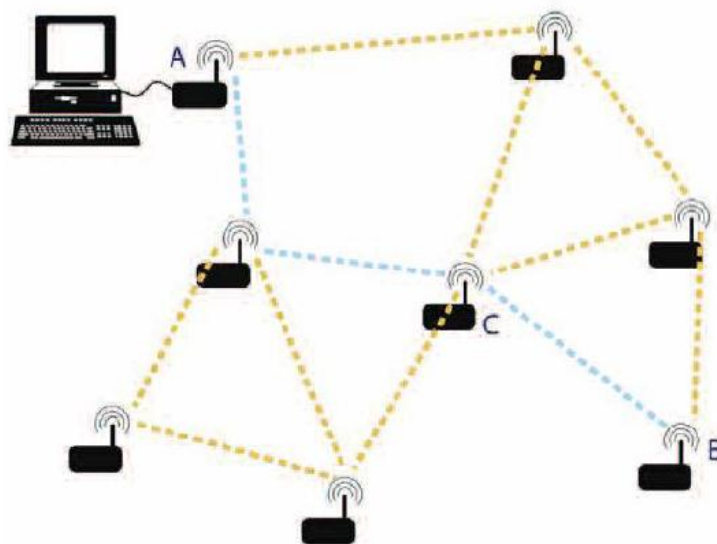


Figura28. Diagrama red MESH para módulos Xbee®.

No se trabajó la red MESH porque para que el funcionamiento de esta red pueda ser evidenciado es necesario tener más de 8 puntos trabajando al mismo tiempo y por cuestiones de presupuesto es demasiado costoso para poder ser implementada.

Por otra parte, se debe tener en cuenta los aspectos de seguridad y protocolos de evacuación que rigen las situaciones de emergencia que se puedan presentar en distintas partes ya que es diferente la evacuación para un edificio que para un colegio o un teatro entre otras posibilidades, adicionalmente a nivel global no hay un protocolo que tenga los parámetros obligatorios de cómo hacer una evacuación aunque si hay normas que dan pautas para situaciones de emergencia como lo son las normas ICNTEC-NTC en cuanto a material de seguridad (1478), sistemas de señales contra incendio. Instalación, mantenimiento y usos (1700), edificios pasillo y corredores (4140) y edificios escalares (4145), las normas NFPA – National Fire Protection Association por sus siglas en inglés, referentes a organización, entrenamiento y equipos para brigadas contra incendio privadas (600) y código de seguridad humana (101). A nivel nacional la legislación colombiana en materia de salud ocupacional establece en varias normas la obligatoriedad que tienen las entidades públicas y privadas para implementar el Programa Integral para la Prevención y el Control de Emergencias, reflejadas en las leyes 9, 1523, 1575, 1562, las resoluciones 2400, 2413, 1016, decretos 2222, 423, 546 y 1443.

En cuanto a seguridad y aspectos técnicos se puede indagar más acerca de cuáles secuencias sonoras son las más pertinentes o si existe alguna normatividad que rija la construcción de las mismas teniendo en cuenta la percepción que tienen las personas en condición de discapacidad, ya que las escogidas para este proyecto fueron realizadas de manera experimental y a consideración propia. Otro aspecto a tener en cuenta es las características que deben cumplir los materiales especialmente para el perifoneo ya que el sistema de bocinas

implementado en este proyecto no tiene alguna especificación sobre resistencia al calor o fuego, tampoco sobre qué tamaño deben cumplir y a qué intensidad se debe manejar la producción del sonido.

## **ANEXO**

El sistema está diseñado para que no dependa de estar conectado a una fuente de alimentación por medio de cables ya sea a una toma corriente o una fuente externa puesto que puede ser alimentado por una batería de 9 voltios.

Se recomienda que esta batería sea recargable y esté conectada a un dispositivo que permita recargarla constantemente porque de no ser así, tendría que estar continuamente reemplazándose a causa del consumo que generan los dispositivos que funcionan por medio de la alimentación que esta provee como son: el Arduino, el sensor MQ2, el parlante y el Xbee® y que hacen que el consumo se haga de manera elevada, haciendo que se agote la vida útil de la batería con mucha rapidez.



## BIBLIOGRAFÍA

Silveira, K. (2012). *Los ciegos oyen mejor: ¿Mito o Realidad?* Recuperado el 3 de noviembre de 2014 de <http://www.ojocientifico.com/5495/los-ciegos-oyen-mejor-mito-o-realidad>

Benedito Botella, P. (2012). *Detalle de la definición del sistema de coordenadas vertical-polar. Procesador de sonido y estudio de métodos para la generación de audio 3D en tiempo real. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia, España.*

Nogales García, J. (2008). *Los sistemas de megafonía para aplicaciones de evacuación y emergencia. Prevención de incendios.* Recuperado el 24 de abril de 2016 de <http://www.morley-ias.es/desdocumentacion/morley/noticias/articulos/megafonia2.pdf>

Ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones. Colombia (2014). *Plan de emergencias y contingencias.* Recuperado el 2 de junio de 2016 de [http://www.mintic.gov.co/portal/604/articulos-1969\\_plan\\_emergencia\\_2014.pdf](http://www.mintic.gov.co/portal/604/articulos-1969_plan_emergencia_2014.pdf)

Unicef (2012). *Protocolos escolares de emergencia, La comunidad escolar en movimiento: Preparación y respuesta educativa.* Recuperado el 2 de junio de 2016 de <http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Protocolos%20escolares%20de%20emergencia.pdf>