

DISPOSITIVO ANTI PÉRDIDA DE OBJETOS PERSONALES

**JUAN DAVID ALFONSO BARÓN
MAURICIO RUBIO MESA**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PREGRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.**

2016

DISPOSITIVO ANTI PÉRDIDA DE OBJETOS PERSONALES

Juan David Alfonso Barón
Mauricio Rubio Mesa

Trabajo de grado para optar por el título de:
Ingeniero Electrónico

Director:
Daniel Jaramillo Ramírez PhD.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PREGRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.

2016

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN:	4
2. MARCO TEÓRICO:	4
3. OBJETIVO DEL PROYECTO:	5
4. DESARROLLO:	5
4.1 COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS:	5
4.1.1 DEFINICIÓN BLUETOOTH:.....	5
4.1.2 DEFINICION GPS:	6
4.1.3 DEFINICION RFID:	6
4.1.4 TABLA COMPARATIVA:.....	6
4.2 SELECCIÓN DE COMPONENTES:	6
4.3 SIMULACIONES DEL SISTEMA EN MATLAB	8
4.3.1 SIMULACIÓN ESTIMACION DE DISTANCIA A PARTIR DE LA POTENCIA RECIBIDA	8
4.3.2 SIMULACIONES MODOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	9
4.4 DISEÑO DEL DISPOSITIVO	11
4.4.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE BATERIA EQUIVALENTE DEL CELULAR	11
4.4.2 DETERMINACIÓN DEL RADIO DE ALERTA Y DE LA DISTANCIA MÁXIMA DE ALCANCE	13
4.5 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA	14
4.5.1 APLICATIVO MOVIL	14
4.5.2 PROGRAMACIÓN DE LOS MÓDULOS BLUETOOTH	17
4.5.3 CIRCUITO DE ALERTA PARA LOS MÓDULOS BLUETOOTH.....	20
5. PROTOCOLO DE PRUEBAS:	22
5.1 PRUEBA DEL SISTEMA UNO A UNO	22
5.1.1 PRUEBA DEL SISTEMA UNO A UNO CON LÍNEA DE VISTA A CAMPO ABIERTO.....	22
5.1.2 PRUEBA DEL SISTEMA UNO A UNO CON LÍNEA DE VISTA A CAMPO CERRADO	23
5.1.3 PRUEBA DEL SISTEMA UNO A UNO SIN LÍNEA DE VISTA CON OBSTÁCULOS A CAMPO CERRADO	24
5.1.4 PRUEBA DEL SISTEMA UNO A UNO CON LOS MODOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	25
5.1.5 PRUEBA DEL SISTEMA UNO A UNO CON LOS MODOS DE REPARTICIÓN DE ENERGÍA.....	26
5.2 PRUEBA DEL SISTEMA COMPLETO (CELULAR CON APLICATIVO MÓVIL Y DOS SLAVES)	28
5.2.1 PRUEBA DEL SISTEMA COMPLETO CON LINEA DE VISTA A CAMPO ABIERTO	28
5.2.2 PRUEBA DEL SISTEMA COMPLETO CON LÍNEA DE VISTA A CAMPO CERRADO	28
5.2.3 PRUEBA DEL SISTEMA COMPLETO SIN LÍNEA DE VISTA CON OBSTÁCULOS A CAMPO CERRADO	29
5.2.4 PRUEBA DEL SISTEMA COMPLETO CON LOS MODOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	30
5.2.5 PRUEBA DEL SISTEMA COMPLETO CON LOS MODOS DE REPARTICIÓN DE LA ENERGÍA	32
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS:	33
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:	34
8. BIBLIOGRAFÍA:	35
9. ANEXOS:	35

1. INTRODUCCIÓN:

La pérdida de elementos personales por olvido o descuido, es una situación que afecta a gran parte de la población humana. Esta situación no solo afecta la vida personal sino también la laboral, dado que en la vida diaria realizamos varias actividades al mismo tiempo y esto conlleva estar atentos de múltiples objetos que portamos. Los elementos comúnmente más usados y olvidados son los teléfonos celulares, billeteras y llaves, entre otros [1]. Además, el extravío de los objetos personales implica pérdida de tiempo para poder recuperarlos y pérdida de dinero.

Debido a que día a día las personas olvidan o extravían sus objetos personales, existe la necesidad de crear un dispositivo que alerte cuando estos se olviden o se alejan de la persona. La seguridad personal es un tema de suprema importancia, ya que en nuestras actividades del diario vivir realizamos múltiples labores, generando con ello descuidos involuntarios de nuestros objetos personales, tales como; llaves, teléfonos celulares, billeteras, objetos portátiles, entre otros; además de las múltiples afectaciones, consecuentes y gastos económicos para recuperarlos o reponerlos. Según estadísticas recientes las personas pierden en promedio en sus vidas 3,680 horas o 153 días buscando y/o recuperando sus objetos perdidos [2]. Por otra parte, en un informe estadístico de la gestión de los objetos perdidos para ciudad de Linares en España, los objetos más perdidos son los celulares con un 21%, documentos personales con un 19%, material escolar con un 15%, llaves con un 8%, entre otros [3].

Diseñar, implementar y evaluar un dispositivo electrónico que detecte cuando un objeto personal se aleje de un transmisor central, enviando una señal de alerta utilizando redes inalámbricas de área personal (WPAN).

En este informe podrá encontrar una comparación entre las diferentes tecnologías de redes inalámbricas de área personal para así lograr seleccionar la más adecuada para el desarrollo del trabajo. Además, podrá encontrar el diseño del sistema completo para así proceder a la selección de los componentes necesarios. Posteriormente se evidenciarán las diferentes pruebas realizadas al dispositivo tales como la comparación de la repartición de la energía, los modos de operación del sistema y el desempeño del sistema bajo diferentes escenarios.

2. MARCO TEÓRICO:

En el periódico estadounidense “Journal of business and management” en su edición de abril de 2015, se publicó un artículo llamado “How does matter lost and misplace item and it’s technological solution”[4], donde se realizó una búsqueda y recopilación de diferentes publicaciones de revistas y periódicos, sobre la pérdida de objetos personales, el cual muestra el impacto y posibles soluciones. Empresas como Apple y Samsung han propuesto diferentes tipos de soluciones sin haber sido lo suficientemente eficaces, además se han creado dispositivos tipo bluetooth tracker como tile, G-tag, Nut, entre otros; los cuales consisten en un pequeño llavero que permite localizar los objetos perdidos, estos trabajan con aplicativos móviles utilizando tecnología bluetooth y en algunos casos GPS, por ello el artículo concluye que los dispositivos tipo bluetooth tracker son la mejor solución en el mercado, sin embargo la pérdida de objetos personales sigue creciendo día tras día. En la conferencia internacional en telecomunicaciones digitales del año 2006 que se llevó a cabo en Francia, se expuso el trabajo titulado “Kids finder through bluetooth technology” [5]. El trabajo presenta la comparación entre la tecnología bluetooth y el infrarrojo (IrDa), concluyendo que tecnología bluetooth es la que mejor, puesto que se presta para este tipo de aplicaciones por su alcance y tipo de comunicación. Además, se hizo la propuesta sobre un sistema de alerta mediante los teléfonos celulares donde se utiliza el bluetooth de estos, con el fin de realizar la comunicación por medio de un aplicativo móvil. Nuestro trabajo de grado se va a diferenciar de los trabajos anteriormente mencionados en que se realizará un sistema de alerta sonora, más no es un sistema de localización de objetos. Nuestro trabajo de grado es una solución *inhouse* novedosa usando ingeniería colombiana, además no se ha realizado un trabajo de grado similar, como el que se pretende presentar en la Pontificia Universidad Javeriana.

3. OBJETIVO DEL PROYECTO:

El objetivo general del presente trabajo es diseñar, implementar y evaluar un dispositivo electrónico que detecte cuando un objeto personal se aleje de un transmisor central, enviando una señal de alerta utilizando redes inalámbricas de área personal (WPAN).

Los objetivos específicos del presente trabajo son:

1. Integración de los componentes de hardware utilizando las tarjetas de desarrollo adecuadas con el fin de lograr el correcto funcionamiento del dispositivo.
2. Desarrollar un aplicativo móvil en el cual se implemente un algoritmo que permita estimar el rango de distancia a partir de la potencia recibida utilizando tecnología Bluetooth.
3. Diseño de los escenarios *indoor* de evaluación y comprobación del sistema, con el objeto de medir el desempeño del sistema sin obstrucciones (con línea de vista), como también con obstrucciones (sin línea de vista) tales como múltiples sillas y mesas, muros y paredes.
4. Validar sobre los escenarios propuestos anteriormente los diferentes modos de operación de manera tal que se identifique el mejor modo para extender el tiempo de vida del dispositivo.

El dispositivo desarrollado en este trabajo, posee las siguientes características:

- Una conectividad mediante tecnología Bluetooth 4.0 usando módulos HM-10.
- El tamaño del dispositivo es de 2.8cm (ancho) x 3cm (largo) x 2cm (alto).
- Desarrollo de un aplicativo móvil compatible para teléfonos Android con versión de API 19 o mayor.
- Un alcance máximo y/o aproximado de 35 metros.
- Un circuito de alerta que se activará a la distancia establecida o programada por el usuario. Para el presente trabajo se tomó como referente una distancia de 20 metros.
- Un sistema que emite una alerta sonora tanto en el *Slave* (módulo bluetooth) como en el *Master* (celular con el aplicativo móvil).
- El dispositivo se podrá conectar máximo 3 *Slaves* (módulos) al mismo tiempo con el *Master* (celular con el aplicativo móvil).
- El sistema cuenta con 3 modos de repartición de la energía.
- El sistema cuenta con 3 modos de consumo (modo normal, modo alerta y modo bajo consumo).
- Los módulos bluetooth (*Slaves*) funcionaran con 3 V es decir 2 pilas AAA de 1.5 V.
- El sistema es más efectivo cuando existen extravíos de objetos a velocidades menores de 40 km/h.

Las anteriores características son las indicadas para satisfacer el objetivo del presente trabajo, toda vez que fueron analizadas, probadas y aplicadas, dando como resultado la efectividad del dispositivo.

4. DESARROLLO:

4.1 COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS:

4.1.1 DEFINICIÓN BLUETOOTH:

Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2.4 GHz.

4.1.2 DEFINICION GPS:

Sistema de posicionamiento global (GPS) es un sistema que permite determinar en toda la Tierra la posición de un objeto (una persona, un vehículo) con una precisión de hasta centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión.

4.1.3 DEFINICION RFID:

RFID (siglas de Radio Frequency IDentification, en español identificación por radiofrecuencia) es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remoto que usa dispositivos denominados etiquetas, tarjetas, transpondedores o tags RFID. El propósito fundamental de la tecnología RFID es transmitir la identidad de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio.

4.1.4 TABLA COMPARATIVA:

Característica \ Tecnología	Bluetooth	GPS	RFID
Alcance (metros).	150 m (con línea de vista) 30 m (sin línea de vista).	Ubica el dispositivo con una precisión en metros.	10 cm.
Tipo de batería.	Litio Tipo moneda CR2032	Recargable 515mA/h (batería celular)	Receptor no necesita batería Central o emisor con fuente de energía constante
Duración Batería.	300 horas (12,5 días)	16 horas.	N/A

Tabla 1. Comparación tecnologías.

4.2 SELECCIÓN DE COMPONENTES:

Inicialmente se realizó una búsqueda y comparación sobre diferentes módulos bluetooth con el fin de seleccionar el más adecuado para el desarrollo del trabajo. A continuación, vemos una tabla comparativa:

Característica \ Módulo Bluetooth	HM-10	HC-06	HC-05
Sensibilidad	-92 dBm	-80 dBm	-80 dBm
Voltaje de operación	2,6 V a 3,3 V	3,1 V a 4,2 V	1,8 V a 3,6 V
Versión Bluetooth	BLE 4.0	2.0	2.0
Consumo de corriente	8 mA	8mA	8,5mA
Tamaño	26.9mm x 13mm x 2.2 mm	27mm×13mm×2mm	27mm×12.5mm×2.4mm

Tipo de programación	Comandos AT + SPP	Comandos AT + SPP	Comandos AT+ SPP
Roles	Master y Slave	Master y Slave	Master y Slave

Tabla 2. Comparación Módulos Bluetooth.

En esta etapa se seleccionó el módulo bluetooth HM-10, siendo el adecuado para el proyecto teniendo en cuenta aspectos importantes tales como; el consumo, tamaño, alcance y tipo de programación. A continuación, se presentan las características puntuales del módulo:

- Facilidad de programación por medio de comandos AT
- Tamaño pequeño (27mm x 13mm x 2mm).
- Trabaja con voltajes entre 2 V – 3.7
- Consume 8.5mA en modo de comunicación (lo cual hace que cumpla la restricción de portabilidad usando una batería tipo moneda de 3.3 V).
- También posee un rango de potencia de salida de -6dBm a +6dBm (lo cual genera un alcance máximo de aproximadamente 100m lo cual es un valor adecuado para el trabajo [1]).



Figura 1. Modulo bluetooth HM-10.

También para el sistema se seleccionó pilas AAA Energizer E92, con las siguientes características:

- Voltaje nominal: 1.5 V.
- Clasificación: Alcalina.
- IR nominal: 150 a 300 miliohms.
- Temperatura de operación: -18°C a 55°C
- Terminal: Flat contact.
- Denominación: ANSI-24^a, IEC-LR03.

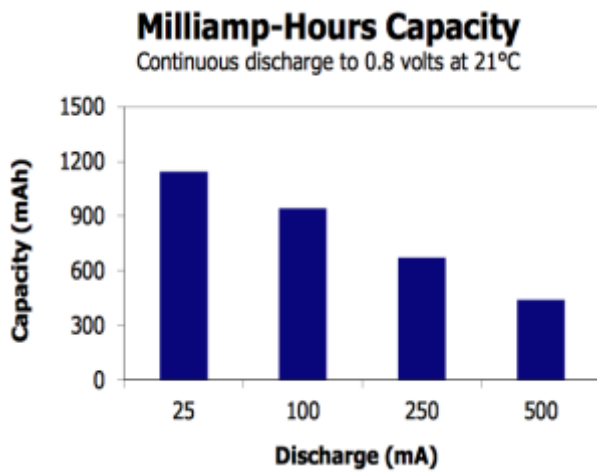


Figura 2. Capacidad pila AAA Energizer.

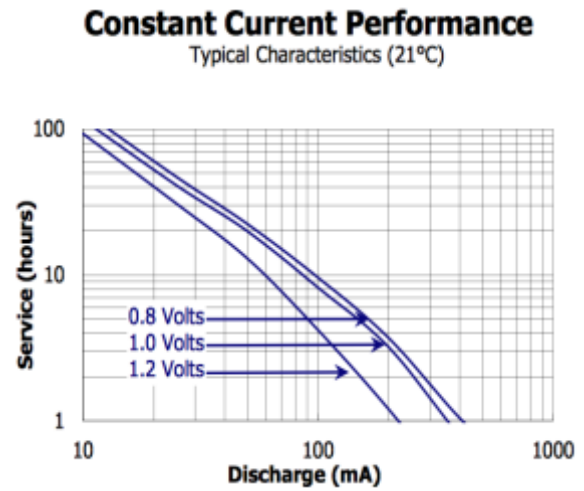


Figura 3. Rendimiento pila AAA Energizer.

4.3 SIMULACIONES DEL SISTEMA EN MATLAB

4.3.1 SIMULACIÓN ESTIMACION DE DISTANCIA A PARTIR DE LA POTENCIA RECIBIDA

En esta simulación realizada en MATLAB se buscó estimar de manera teórica e ideal el comportamiento del sistema, es decir se graficó distancia vs potencia recibida. Lo anterior con el fin de determinar el alcance máximo del sistema.

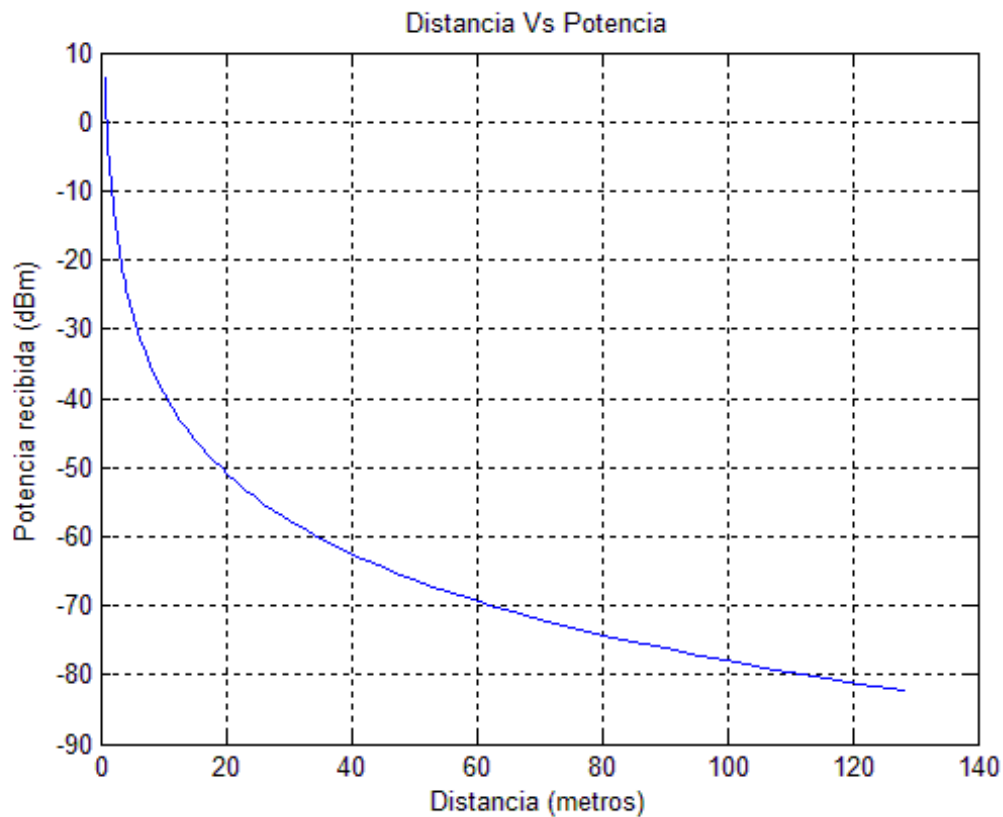
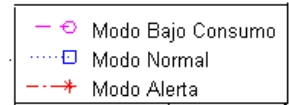


Figura 4. Simulación del alcance máximo del sistema en MATLAB.

En la anterior figura se evidencia que en una situación ideal es decir sin obstáculos y con línea de vista, el módulo bluetooth tiene un alcance de aproximadamente 130 metros para una potencia recibida de -82 dBm. El código en MATLAB se encuentra en el ANEXO 12.

4.3.2 SIMULACIONES MODOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA



Por otra parte, se realizó una simulación de los tres (3) modos de operación del sistema tales como, modo normal (punto azul), modo alerta (punto rojo) y modo bajo consumo (punto purpura). Esta simulación consistió en determinar el tiempo de vida del sistema teniendo en cuenta que en cada modo emite a una frecuencia y potencia diferente. En la figura 5 se evidencia la gráfica en tres dimensiones (frecuencia del mensaje vs potencia transmitida vs tiempo de vida del sistema).

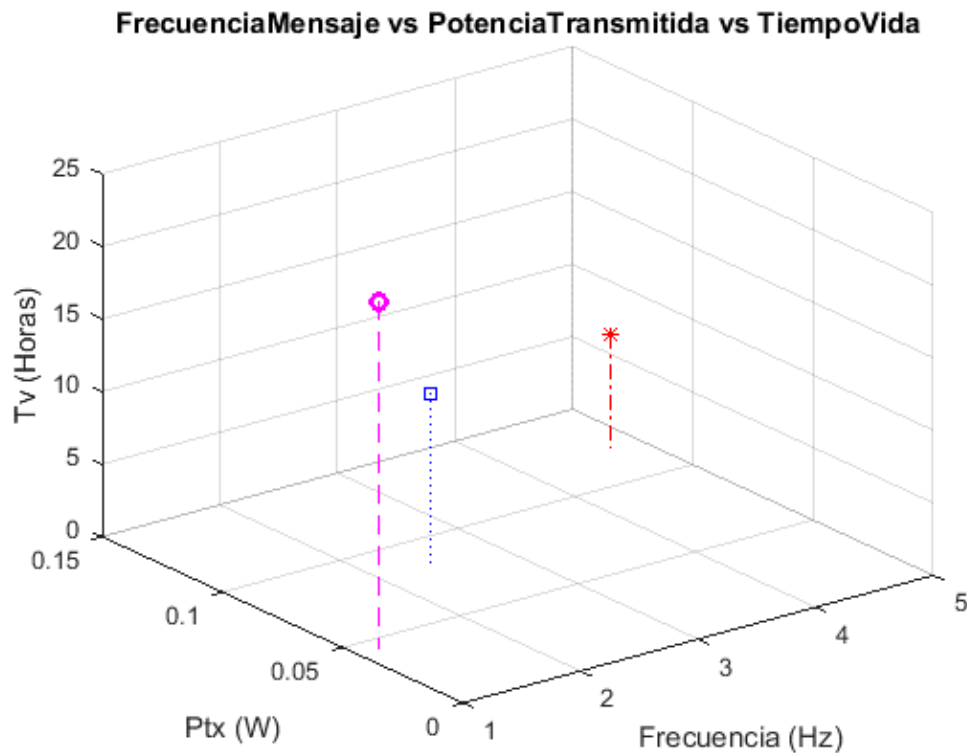


Figura 5. Grafica 3D - Frecuencia del mensaje vs Potencia transmitida vs Tiempo de vida.

En las figuras 6, 7 y 8 se evidencia la misma gráfica anterior, pero en dos dimensiones con el fin de poder interpretarla de una manera más clara. En la figura 6 se visualiza la potencia transmitida contra frecuencia del mensaje, la siguiente (figura 7) es tiempo de vida contra frecuencia del mensaje y la tercera (figura 8) es tiempo de vida contra potencia transmitida.

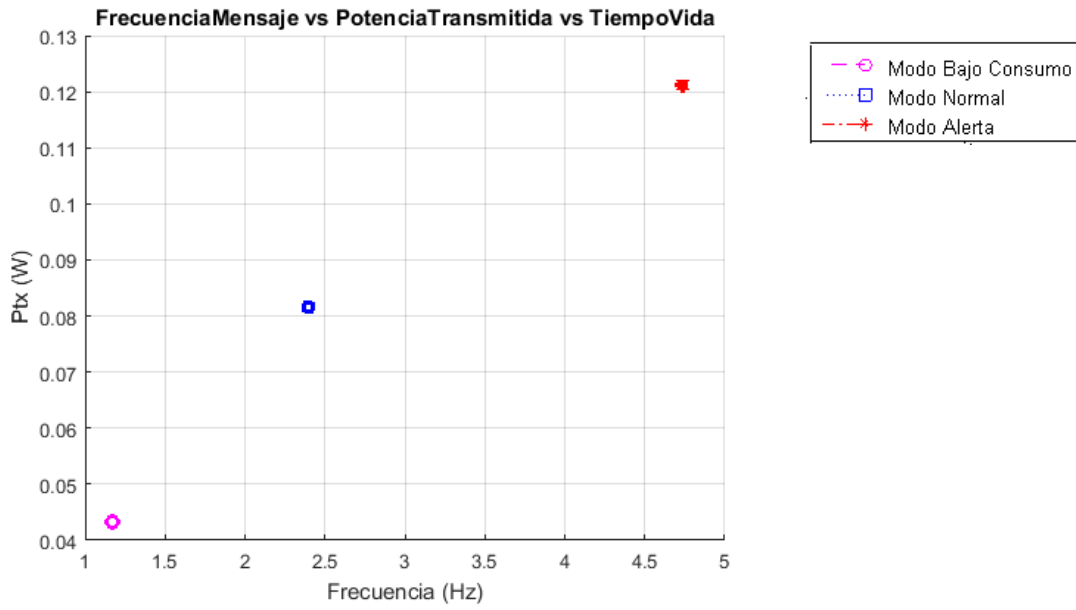


Figura 6. Gráfica - Potencia transmitida vs Frecuencia del mensaje.

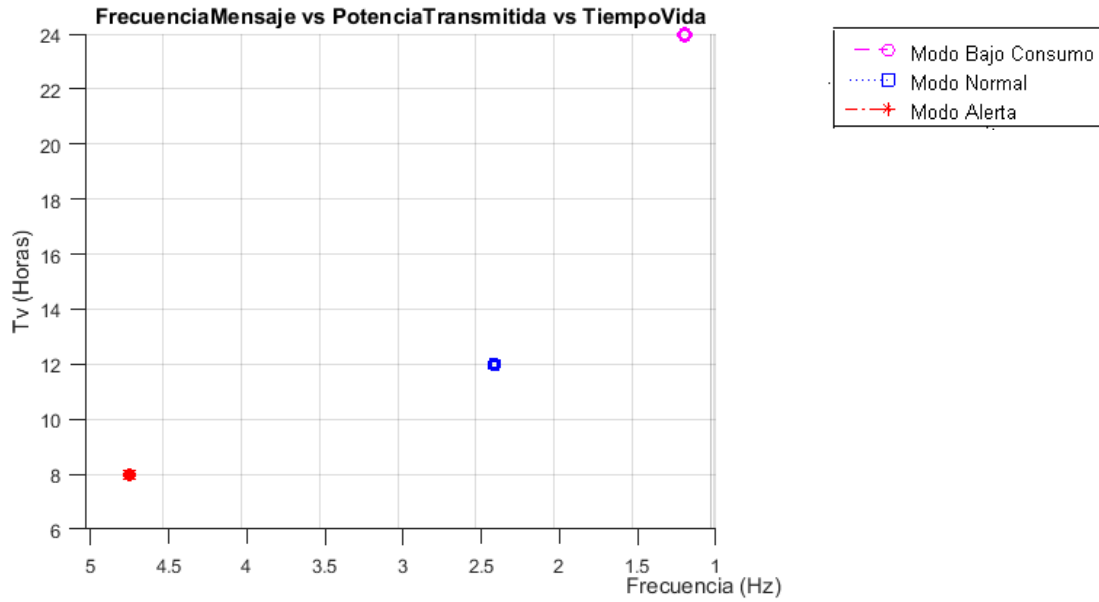


Figura 7. Gráfica - Tiempo de vida vs Frecuencia del mensaje.

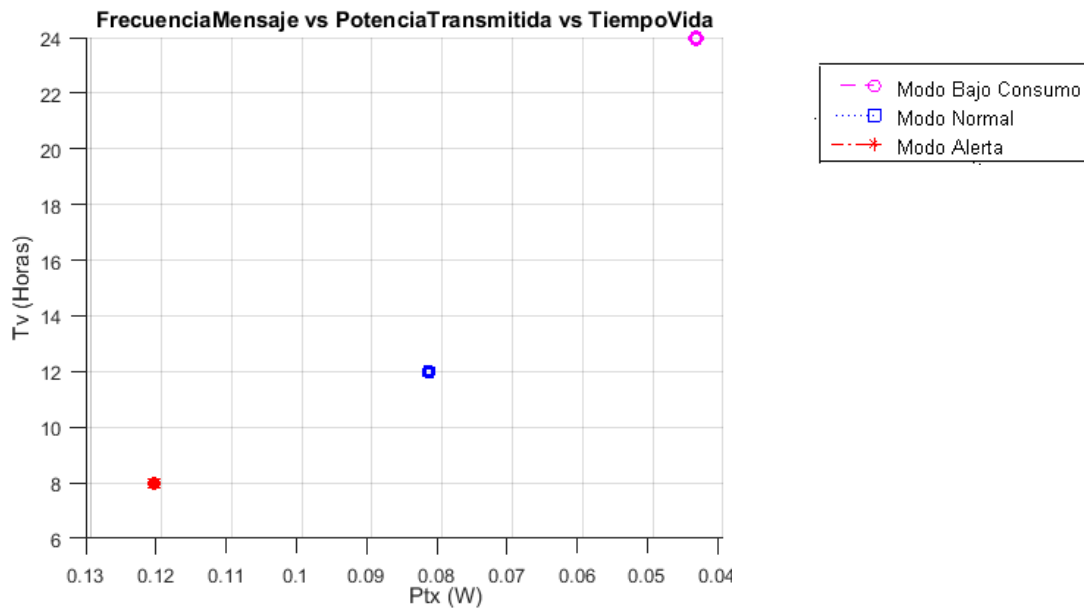


Figura 8. Grafica - Tiempo de vida vs Potencia transmitida.

En la figura 6 se evidencia que, a mayor frecuencia, mayor es la potencia transmitida, lo cual nos da como conclusión que a mayor frecuencia menor es el tiempo de vida del sistema, tal como se visualiza en la figura número 7.

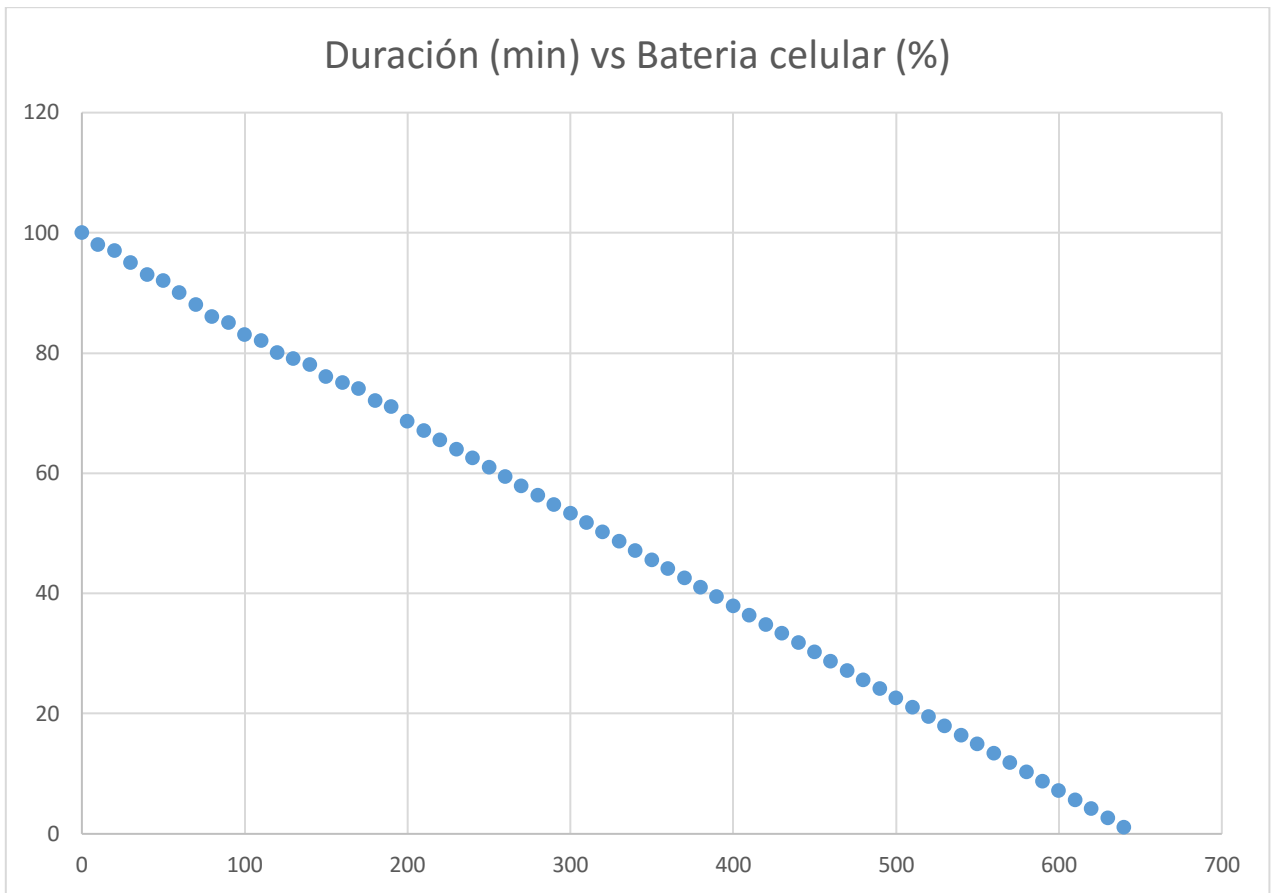
4.4 DISEÑO DEL DISPOSITIVO

4.4.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE BATERIA EQUIVALENTE DEL CELULAR

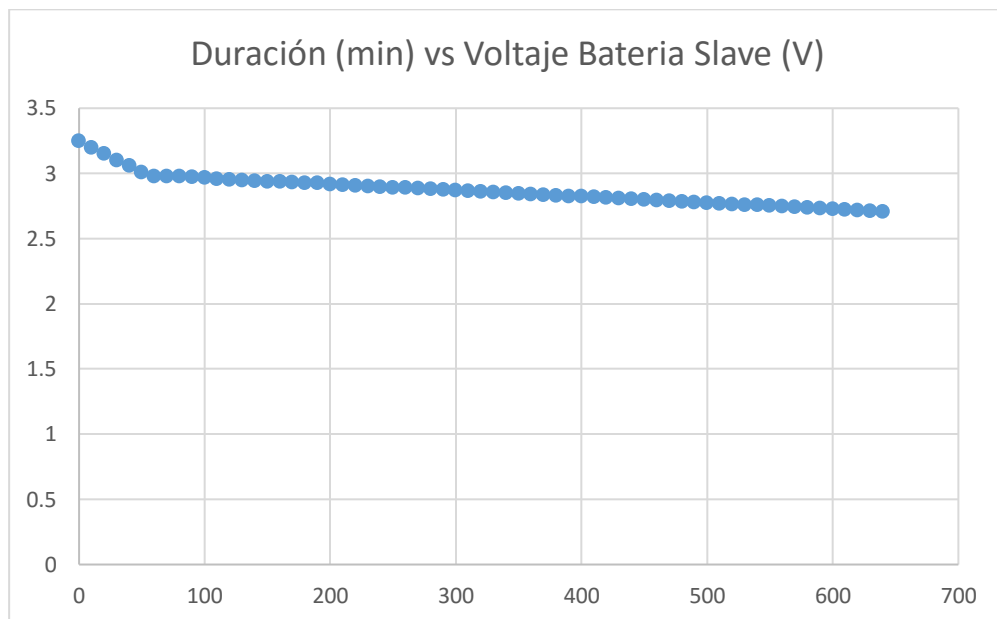
En esta sección se realizó pruebas de duración de la batería usada por los módulos y de la batería del celular, esto con el fin de determinar el porcentaje de la batería del celular equivalente a la batería del módulo. Esta prueba se realizó bajo las siguientes condiciones:

- Módulo bluetooth configurado como *Slave* usando el modo uno de repartición de la energía y el modo normal de operación del sistema.
- Al celular utilizado (Motorola RAZR) se le cerraron todos los aplicativos, quedando abierto solo la aplicación desarrollada (AppBluetoothFinal).
- Se conectó el modulo bluetooth al aplicativo móvil, dejando el módulo *Slave* dentro del rango.
- Se tomaron medidas de duración de cada uno de los dispositivos (celular y módulo bluetooth) tomando como referencia que el celular comenzó con 100% de la carga de la batería y el módulo uso pilas AAA nuevas.

A continuación, se encuentran los resultados obtenidos:



Gráfica 1. Duración batería contra batería del celular

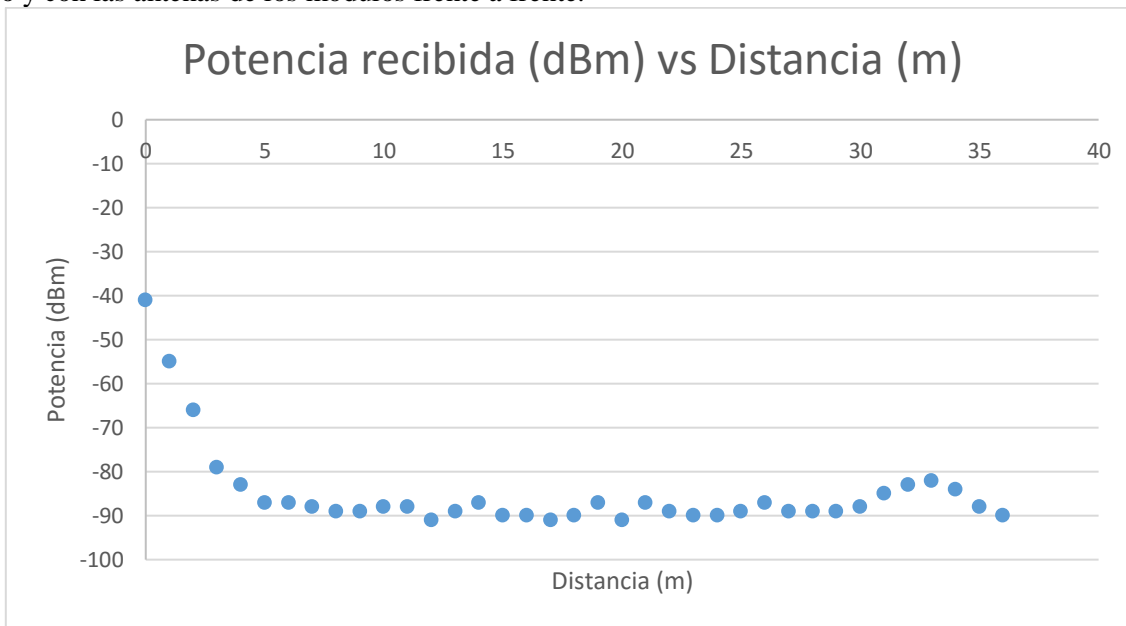


Gráfica 2. Duración batería contra batería del celular

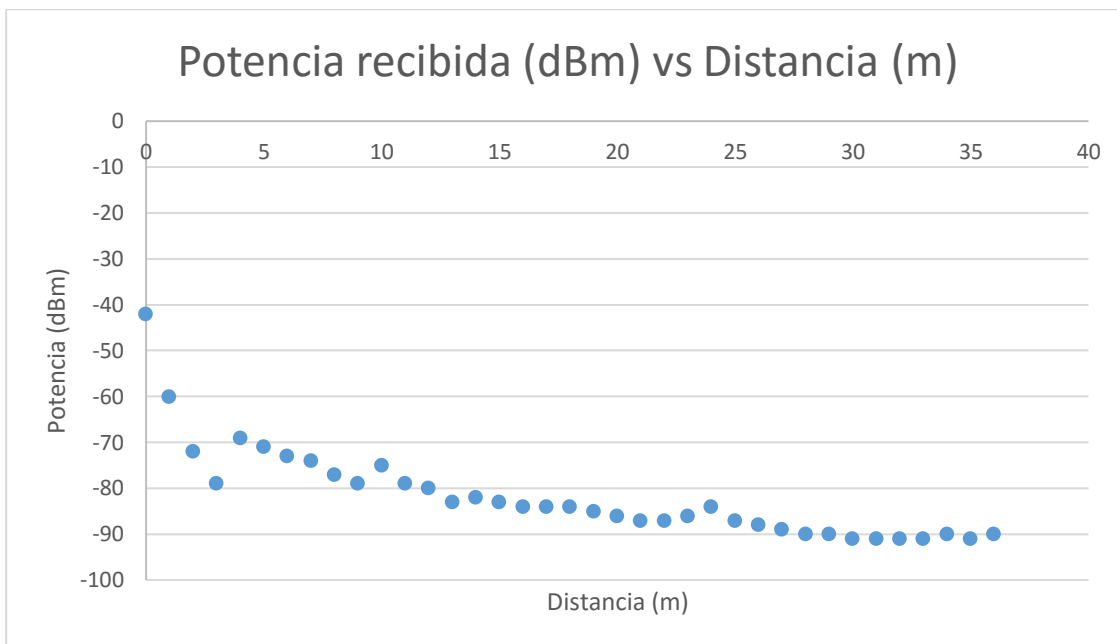
En las gráficas anteriores (Gráfica 1 y 2) vemos cómo aproximadamente al mismo tiempo que se acaba la batería del celular, se acaba la batería del módulo bluetooth (Slave), es decir el sistema bajo el modo normal tiene una duración de 640 minutos, lo cual quiere decir que son aproximadamente once (11) horas.

4.4.2 DETERMINACIÓN DEL RADIO DE ALERTA Y DE LA DISTANCIA MÁXIMA DE ALCANCE

En esta sección se realizaron dos (2) pruebas, buscando determinar el alcance máximo y por ende el radio de alerta del sistema. El primer escenario se realizó en campo abierto es decir sin obstáculos y con línea de vista, los resultados se pueden visualizar en la gráfica 3. El segundo escenario se realizó en campo cerrado es decir sin obstáculos, pero con línea de vista tal como se visualiza en la gráfica 4. Ambas pruebas se realizaron tomando medidas de la potencia recibida cada metro, además se tomaron a una altura de un (1) metro y con las antenas de los módulos frente a frente.



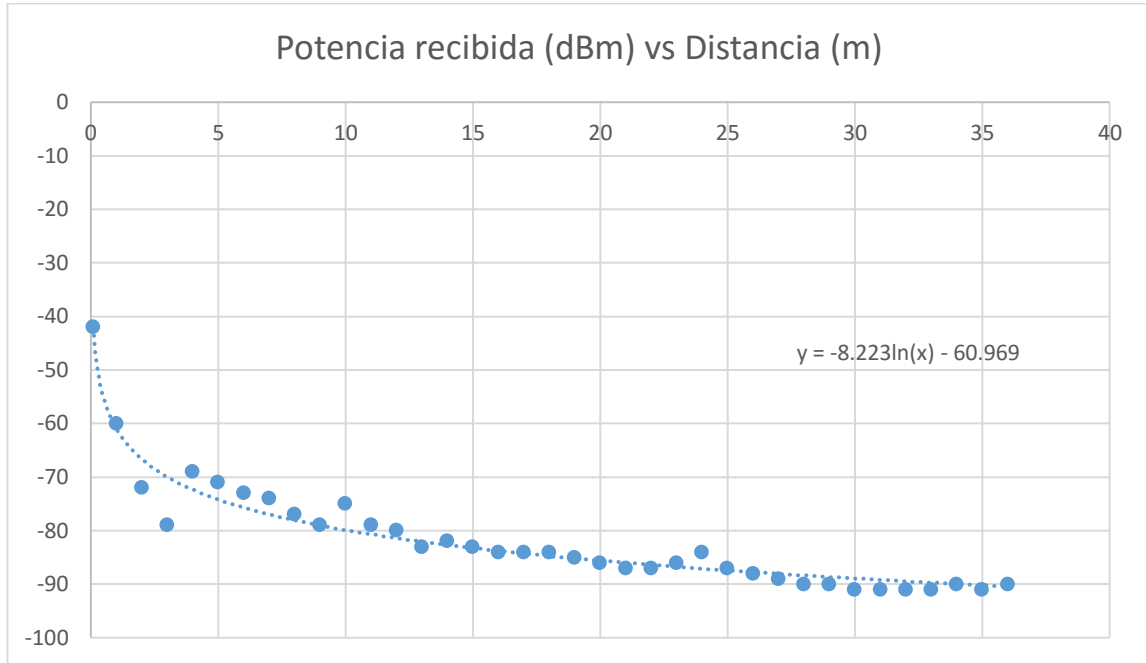
Gráfica 3. Alcance del sistema en campo abierto con línea de vista.



Gráfica 4. Alcance del sistema en campo cerrado con línea de vista.

En las gráficas anteriores se observa que el sistema logra un alcance máximo de 35 metros sin interrupciones o fallas en la conexión, por lo tanto, vemos conveniente fijar en 20 metros en radio de alerta del sistema esto con el fin de tener un área apropiada de advertencia.

Posteriormente se determinó la ecuación de la gráfica 5 con el fin de usarla en el algoritmo de determinación de la distancia. Analizando las gráficas anteriores (gráfica 3 y 4) se escogió la gráfica 3 debido a que tiene una tendencia más uniforme y coherente con las simulaciones realizadas en MATLAB (figura 4). Para calcular la ecuación de la gráfica 5 los valores de la potencia recibida contra la distancia para posteriormente sacar la ecuación de la línea de tendencia logarítmica, la gráfica ilustrada se encuentra a continuación:



Gráfica 5. Alcance del sistema en campo abierto con línea de vista.

La ecuación determinada por Excel es la siguiente:

$$y = -8,2229 * \ln(x) - 60,969 \quad \text{Ecuación 1.}$$

donde “y” es la potencia recibida y “x” es la distancia, por lo tanto, tenemos que despejar “x” para así tener la ecuación del algoritmo de estimación de la distancia. La ecuación 1 despejando “x” es la siguiente:

$$x = e^{\left(\frac{10(1000y - 60969)}{82229}\right)} \quad \text{Ecuación 2.}$$

4.5 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

4.5.1 APLICATIVO MOVIL

Se desarrolló un aplicativo móvil por medio de Android Studio, donde se pueden visualizar dos (2) pantallas; La primera pantalla se visualiza en figura 9, en esta pantalla se puede seleccionar uno de los tres diferentes modos de repartición de la energía. En la segunda pantalla (figura 10) se visualiza el listado de dispositivos bluetooth para así conectar el deseado, una vez conectado el dispositivo el aplicativo muestra la información del dispositivo tales como, el nombre, la dirección MAC, tipo o versión del bluetooth, potencia recibida y la estimación de la distancia a la cual se encuentra el módulo bluetooth.

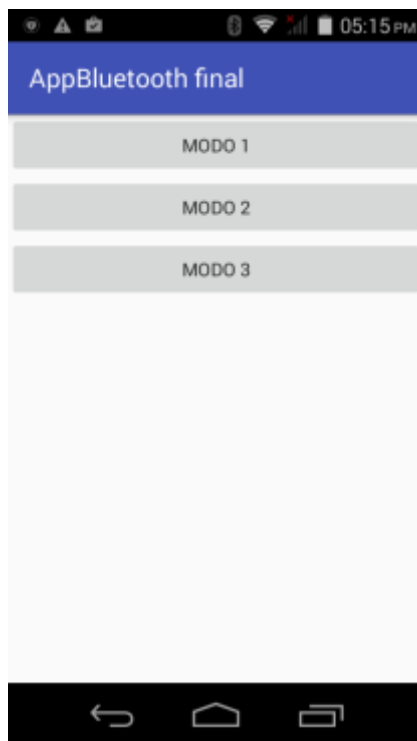


Figura 9. Primera pantalla aplicativo móvil.

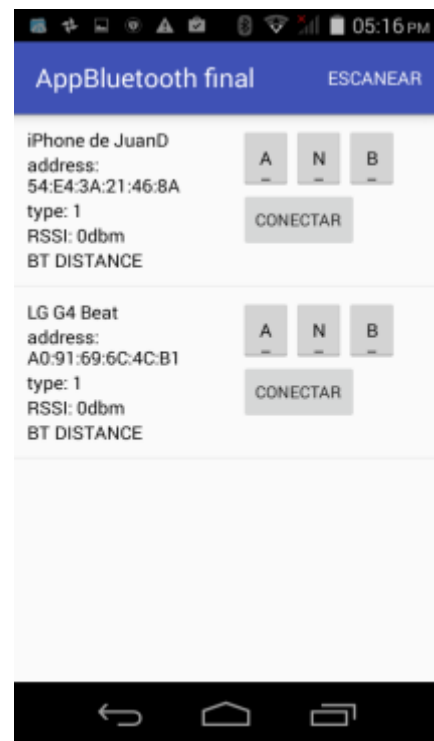


Figura 10. Segunda pantalla aplicativo móvil.

En la figura 12 se evidencia que posteriormente de dar clic en escanear se selecciona el dispositivo a conectar donde por defecto se conecta en modo normal (N). Por otra parte, en la figura 11 se ve cómo podemos cambiar el modo de operación del sistema a bajo consumo (B) además una vez que el dispositivo sale del rango, la variable de la distancia se torna color rojo, emitiendo por parte del celular un sonido de alerta.

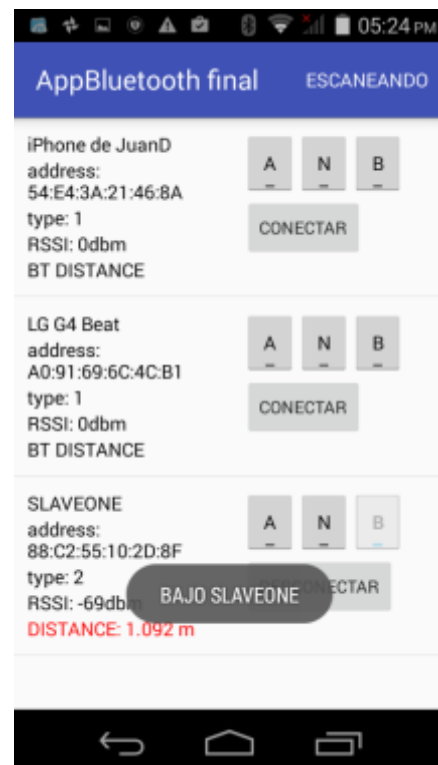


Figura 11. Segunda pantalla luego de conectar un módulo.

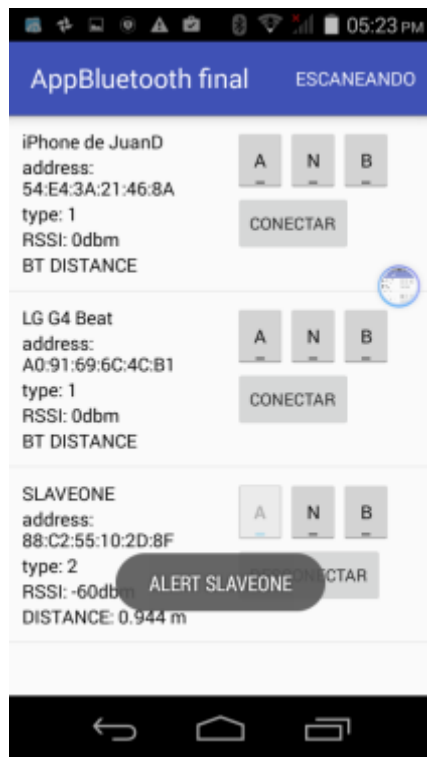


Figura 12. Módulo conectado en modo bajo consumo.

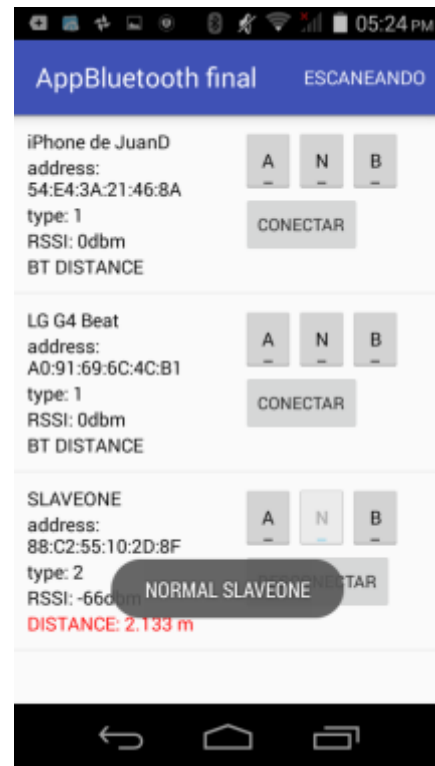


Figura 13. Módulo conectado en modo alerta.

Figura 14. Módulo conectado en modo normal.

En el anterior aplicativo se utilizaron diferentes comandos y librerías para realizar la conexión bluetooth entre el celular y los módulos bluetooth. A continuación, están los más importantes:

- Librería para los permisos de la conexión de Bluetooth 4.0

```

import android.bluetooth.BluetoothGattService;
import android.bluetooth.BluetoothAdapter;
import android.bluetooth.BluetoothGatt;
import android.bluetooth.BluetoothGattCallback;
import android.bluetooth.BluetoothGattCharacteristic;
import android.bluetooth.BluetoothGattService;

```

Las anteriores librerías de Android 4.3 (nivel 18 de API) incorpora soporte de plataforma integrada para Bluetooth Low Energy en la función central y proporciona API que las aplicaciones pueden utilizar para descubrir dispositivos, consultar servicios y características de lectura / escritura. En contraste con Bluetooth clásico, Bluetooth Low Energy (BLE) está diseñado para proporcionar un consumo de energía significativamente menor. Esto permite que las aplicaciones de Android se comuniquen con dispositivos BLE que tienen bajos requerimientos de energía, como sensores de proximidad, monitores de frecuencia cardíaca, dispositivos de fitness, etc.

A continuación, se muestra un resumen de los términos y conceptos clave de BLE:

Perfil genérico de atributo (GATT): el perfil GATT es una especificación general para enviar y recibir datos cortos conocidos como "atributos" en un enlace BLE. Todos los perfiles actuales de aplicaciones de Baja Energía se basan en el GATT.

Atributo Protocolo (ATT) -GATT se construye en la parte superior del Atributo Protocolo (ATT). Esto también se conoce como GATT / ATT. ATT está optimizado para funcionar en dispositivos BLE. Para ello, utiliza como pocos bytes como sea posible. Cada atributo está identificado de forma única por un identificador universalmente único (UUID), que es un formato estandarizado de 128 bits para un ID de cadena utilizado para identificar de forma exclusiva la información. Los atributos transportados por ATT son formateados como características y servicios.

Una característica contiene un único valor y 0-n descriptores que describen el valor de la característica. Una característica puede ser pensada como un tipo, análogo a una clase.

- Conexión a un servidor GATT

El primer paso en la interacción con un dispositivo BLE es la conexión a él, más específicamente, la conexión con el servidor GATT en el dispositivo. Para conectarse a un servidor GATT en un dispositivo BLE, se utilizó el método `connectGatt()`. Este método utiliza tres parámetros:

- Un objeto Contexto, `autoConnect` (booleano que indica si se conectará automáticamente al dispositivo BLE tan pronto como esté disponible)
- Una referencia a un `BluetoothGattCallback`: `MBluetoothGatt = device.connectGatt` (esto, `false`, `mGattCallback`); Esto se conecta al servidor GATT alojado por el dispositivo BLE y devuelve una instancia de `BluetoothGatt`, que puede utilizar para realizar operaciones del cliente GATT.
- El llamador (la aplicación de Android) es el cliente del GATT. El `BluetoothGattCallback` se utiliza para entregar resultados al cliente, como el estado de la conexión, así como cualquier otra operación del cliente del GATT.

4.5.2 PROGRAMACIÓN DE LOS MÓDULOS BLUETOOTH

Para la programación de los módulos bluetooth se utilizaron comandos AT, los cuales se envían por medio de una comunicación serial usando un ARDUINO MEGA 2560. Los comandos AT utilizados en el trabajo fueron los siguientes:

- "AT+RENEW": Comando para resetear configuraciones de fábrica.
- "AT": Comando para verificar respuesta.
- "AT+NAME": Comando para cambiar de nombre el módulo.
- "AT+ADVI": Comando para configurar el intervalo de tiempo de advertencia. Se configuró ADVI2 para modo alerta, ADVI4 para modo normal y ADVI7 para modo bajo consumo.
- "AT+MODE": Comando para cambiar el modo de transmisión a control remoto.
- "AT+ROLE": Comando para cambiar el rol - ROLE0 = Perimetral - ROLE1 = Central.
- "AT+RSSI?": Comando para leer el valor del RSSI.
- "AT+PIO21": Comando para activar la salida número 2 para la alerta sonora.
- "AT+PIO20": Comando para desactivar la salida número 0 para la alerta sonora.

En los diagramas siguientes, nuestro objetivo es ilustrar el funcionamiento de cada uno de los pasos de los códigos implementados en ARDUINO.

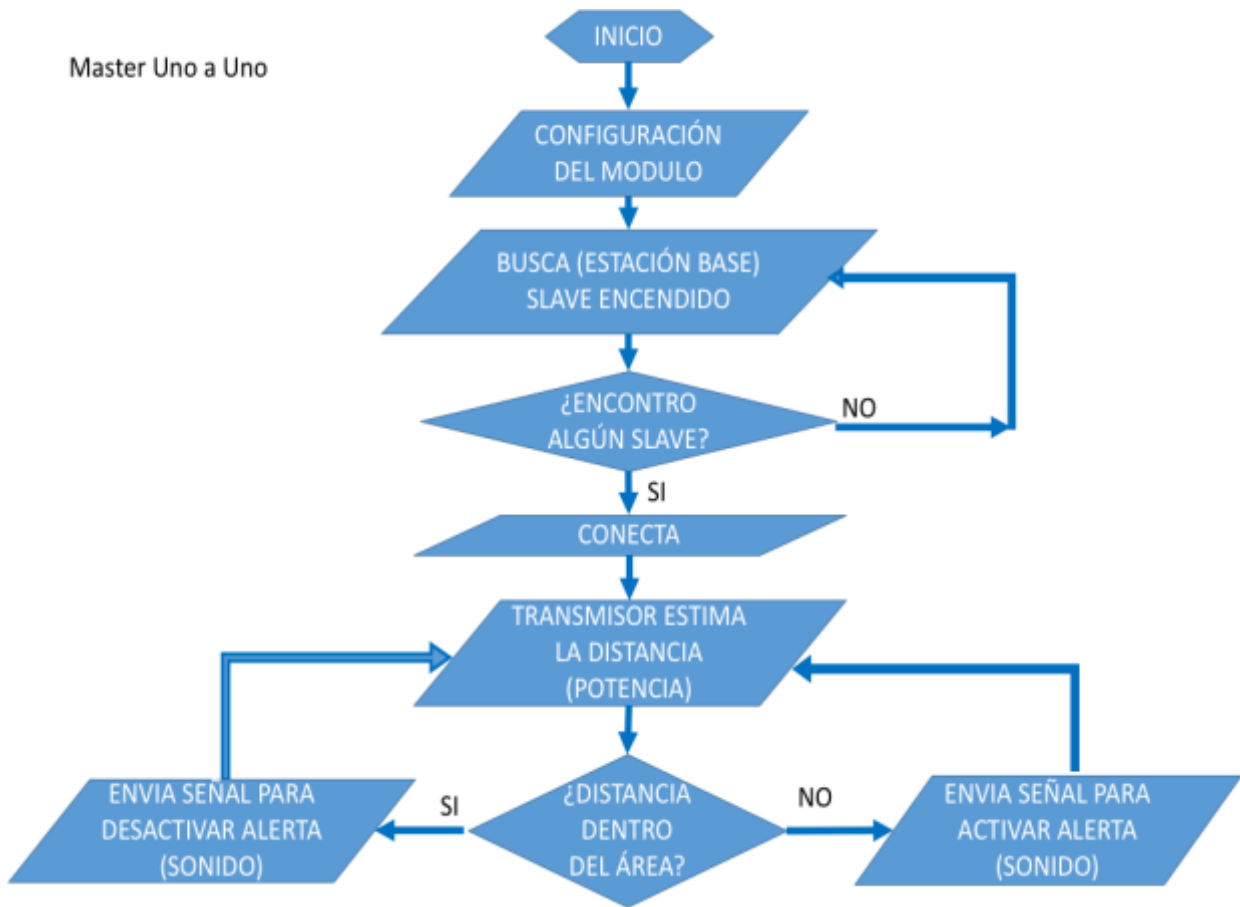


Figura 15. Diagrama en flujo programa *Master* uno a uno.

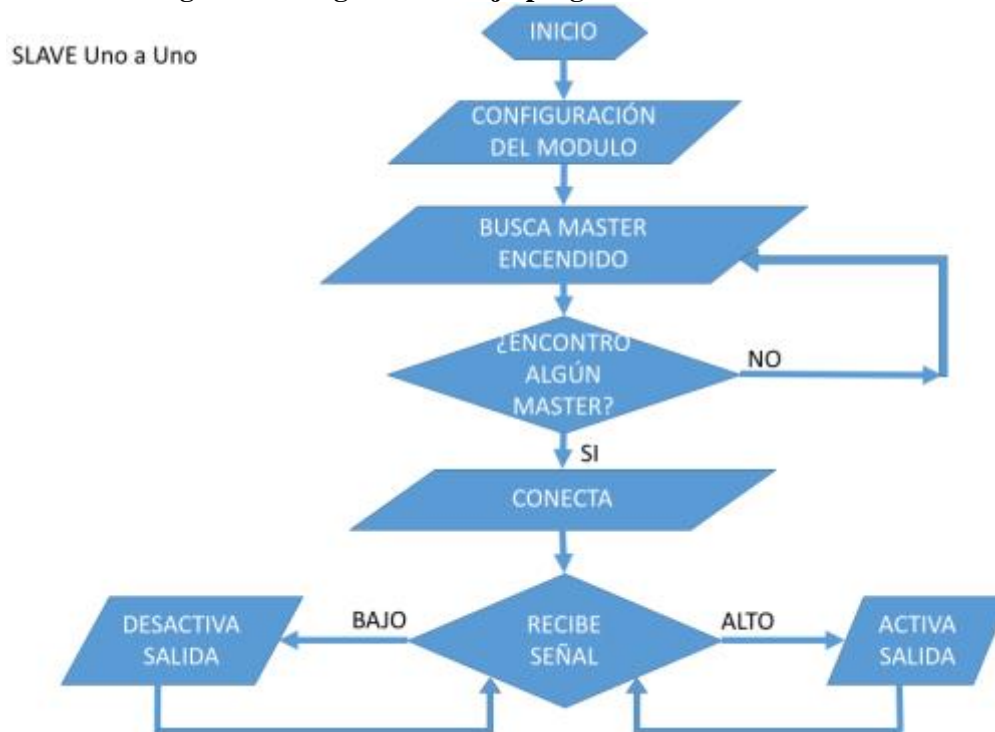


Figura 16. Diagrama en flujo programa *Slave* uno a uno.

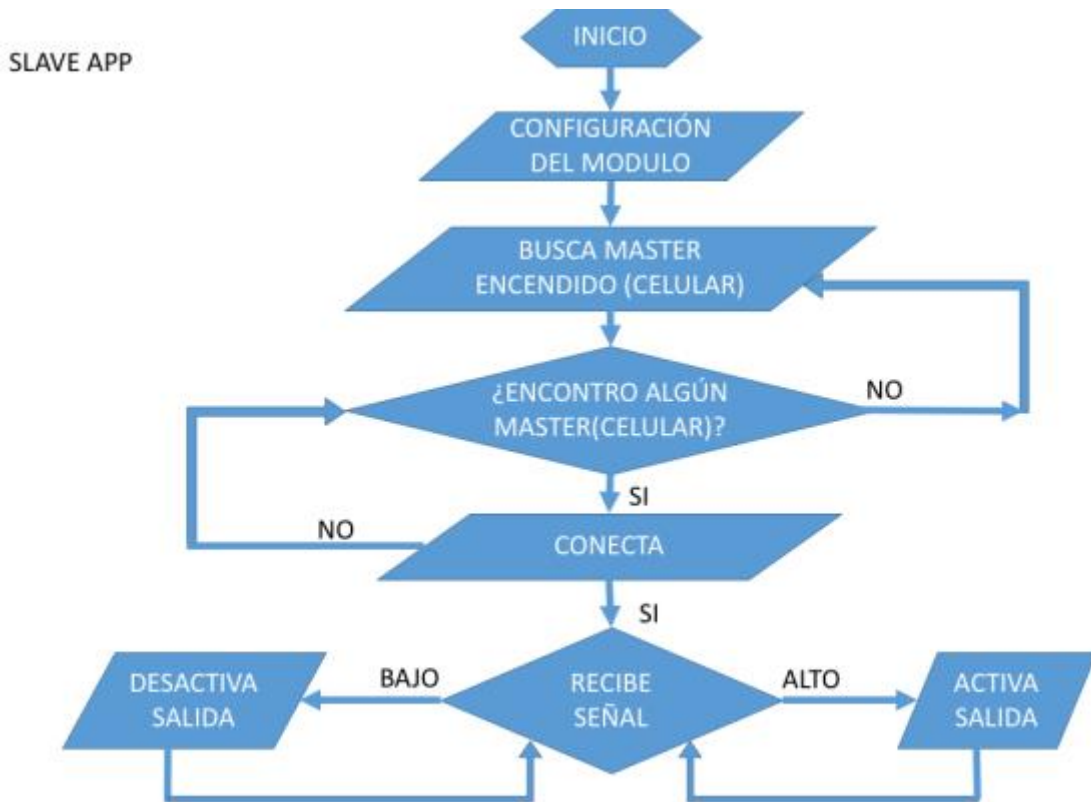


Figura 17. Diagrama en flujo programa *Slave APP*.

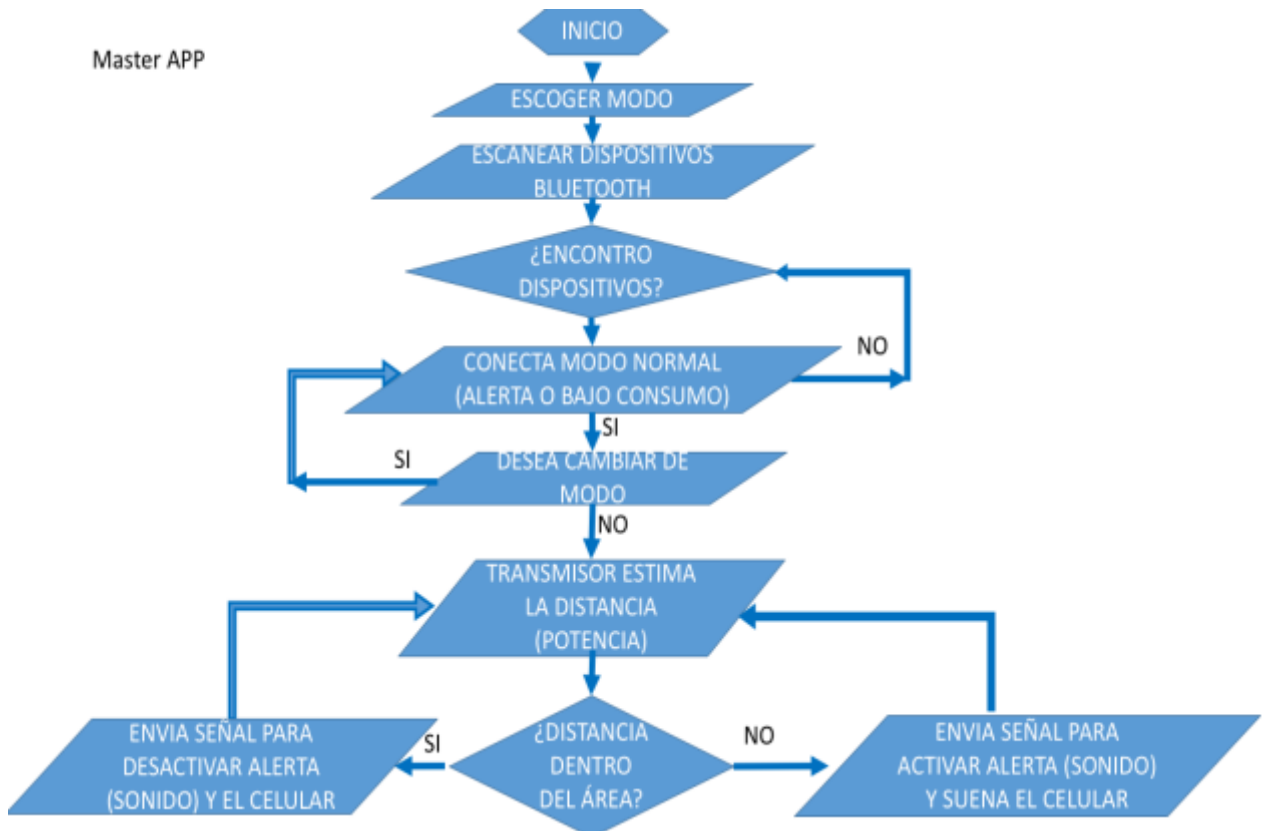


Figura 18. Diagrama en flujo programa *Master APP*

4.5.3 CIRCUITO DE ALERTA PARA LOS MÓDULOS BLUETOOTH

A continuación, se encuentran los cálculos del BJT en saturación para realizar la activación del circuito de alerta sonora,

$$V_{bat} = 3.3 \text{ V}$$

$$R_c = 336 \Omega \text{ (Buzzer)}$$

Calculamos la I_c (Corriente de colector)

$$I_c = V_{bat}/R_c$$
$$I_c = \frac{(3.3 \text{ V})}{336 \Omega}$$
$$I_c = 9.8 \text{ mA}$$

Con la I_c calculamos la I_b sabiendo que en 2N2222 tiene un Beta de 120

$$I_c = \beta * I_b$$
$$I_b = I_c/\beta$$
$$I_b = (9.8 \text{ mA})/120$$
$$I_b = 81.81 \mu\text{A}$$

Ahora calculamos R_b

$$V = V_{mod} - V_{diodo}$$
$$V = 2.5 \text{ V} - 0.7 \text{ V}$$
$$V = 1.8 \text{ V}$$
$$R_b = (1.8 \text{ V})/(81.81 \mu\text{A})$$
$$R_b = 22 \text{ K}\Omega$$

Esquemático del impreso de los módulos *Slaves* realizado es el siguiente:

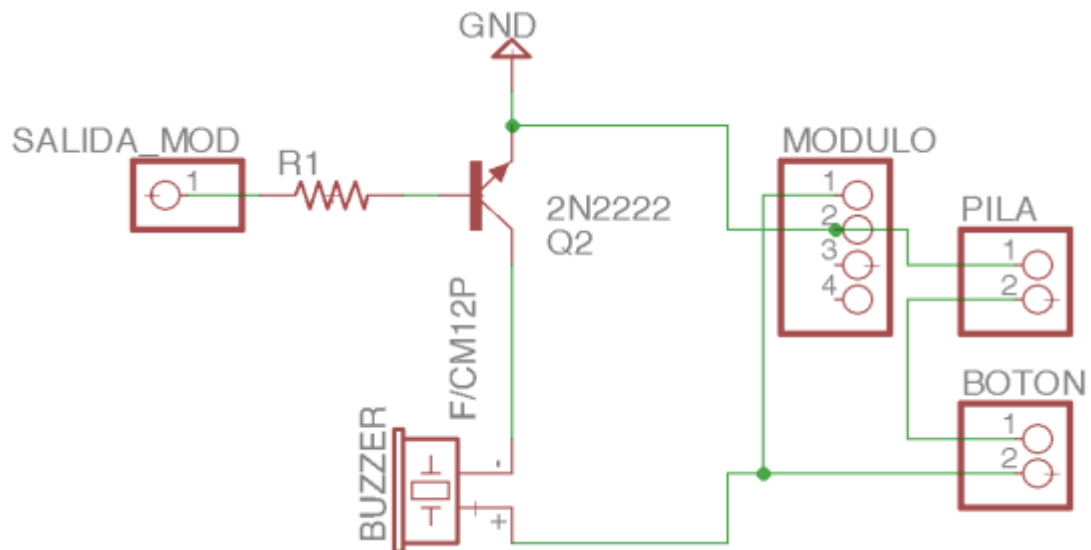


Figura 19. Esquemático circuito de alerta.

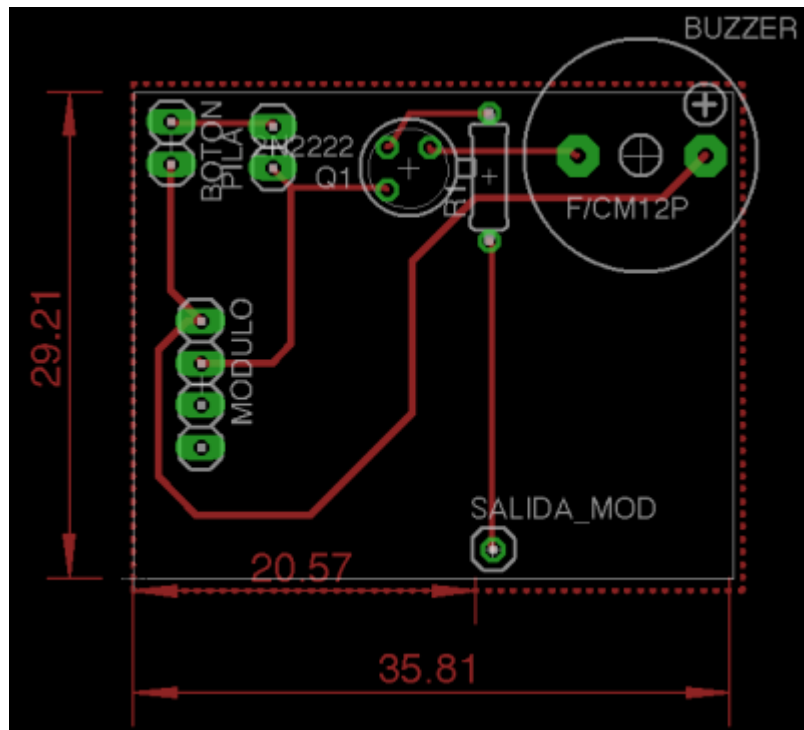


Figura 20. Impreso circuito de alerta.



Figura 21. Dispositivo final (Slave).

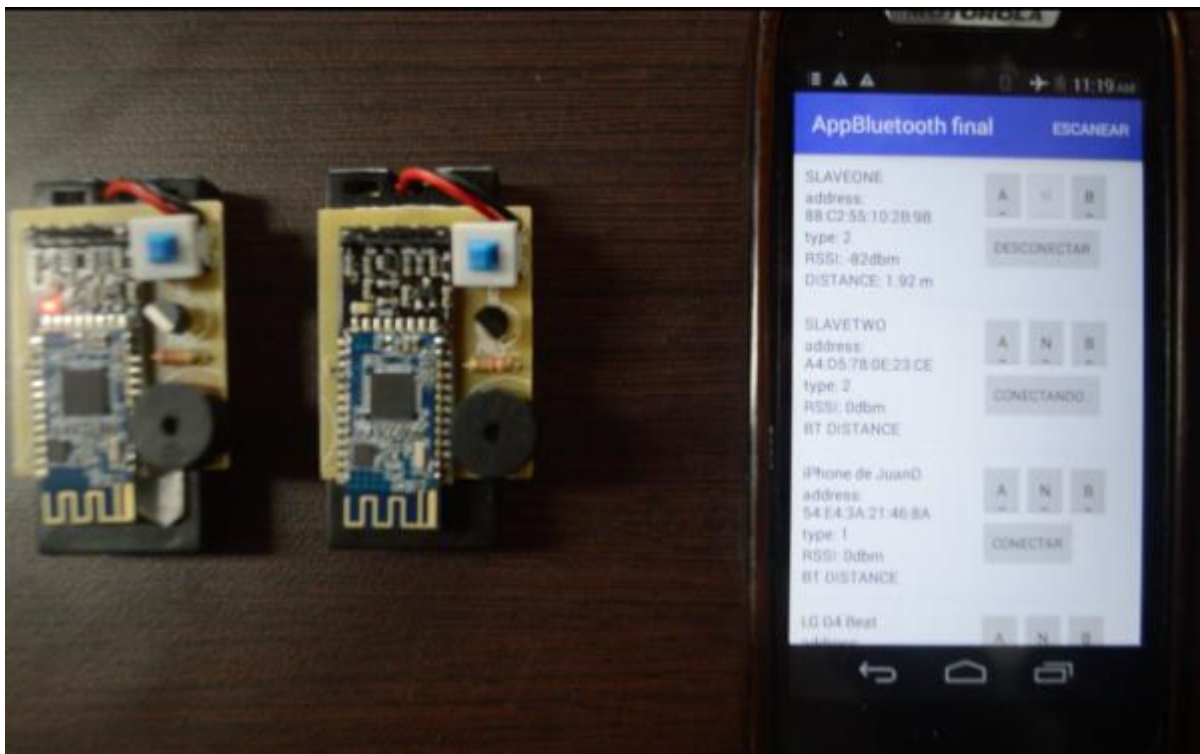


Figura 22. Sistema completo (Slaves y Celular como Master).

5. PROTOCOLO DE PRUEBAS:

Para el presente trabajo de investigación, se llevaron a cabo múltiples pruebas (de diferente índole) hasta lograr el resultado final, dentro de las mismas podemos enunciar dos (2) grandes escenarios; El primer escenario comprende la prueba del sistema uno a uno, es decir, un *Master* y un *Slave*. El segundo escenario comprende la prueba del sistema usando el celular con el aplicativo móvil (*Master*) y dos *Slaves*. Cabe resaltar que en ambos escenarios se realizó la evaluación de los tres (3) modos de repartición de la energía, así mismo se realizó la evaluación de los tres (3) modos de operación del sistema.

5.1 PRUEBA DEL SISTEMA UNO A UNO

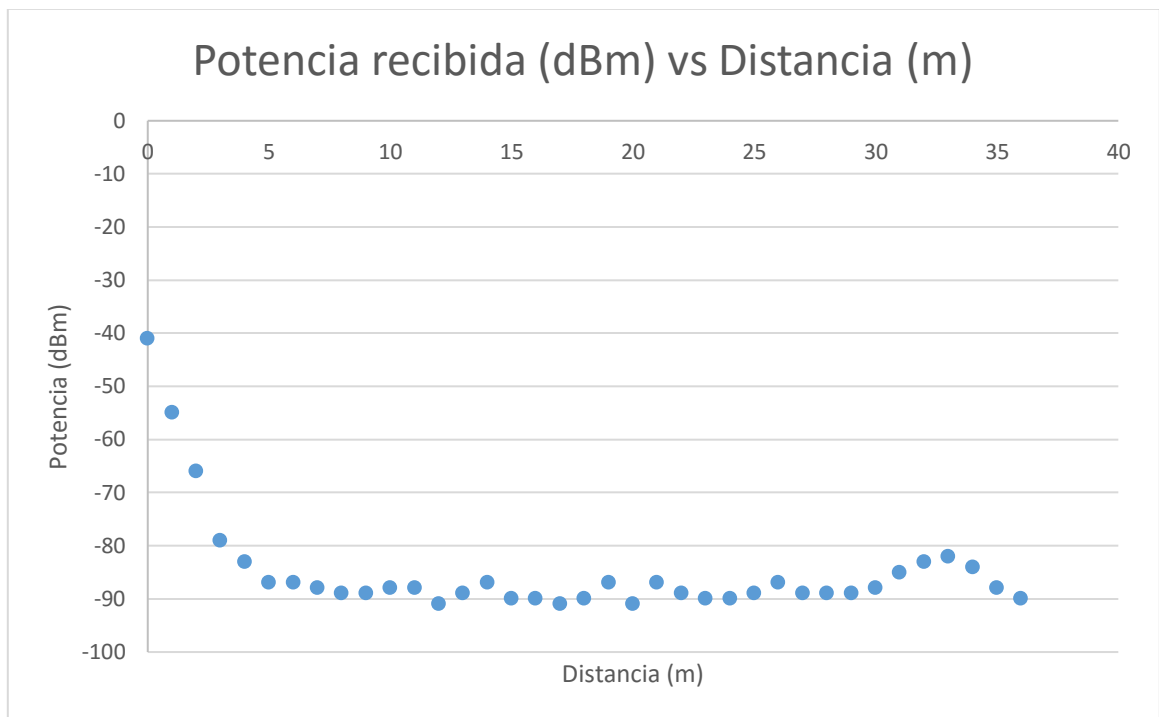
5.1.1 PRUEBA DEL SISTEMA UNO A UNO CON LÍNEA DE VISTA A CAMPO ABIERTO

Para mayor ilustración del procedimiento e implementación de esta prueba nos ubicamos en campo abierto “cancha de futbol” donde realizamos en repetidas oportunidades trabajo de campo con los módulos bluetooth y demás piezas que componen el dispositivo hasta lograr el resultado final.

Este procedimiento se llevó a cabo bajo los siguientes parámetros:

- Medición de la potencia recibida por parte del módulo Slave teniendo en cuenta que este estuvo fijo y solo hubo movimiento del módulo *Master*.
- El módulo *Master* se desplazó metro a metro, hasta alcanzar los treinta y cinco (35) metros aproximadamente de efectividad.
- La prueba se realizó en terreno a campo abierto, es decir sin obstáculos y con línea de vista.

Escenario fue realizado en el campo abierto donde se componía de un área 4800 m² sin ningún tipo de obstáculos dentro de esta área rodeada por árboles, edificios y el terreno era totalmente uniforme y parejo se colocó uno de los módulos en un extremo de esta área y el otro se fue evaluando a diferentes distancias.



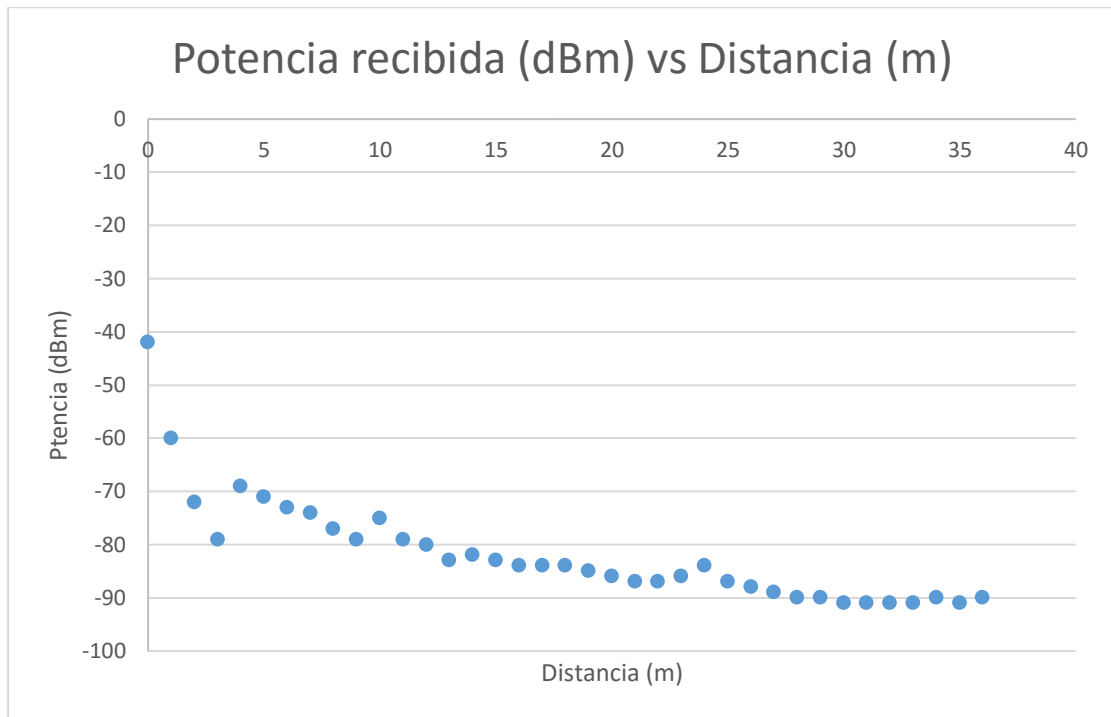
Gráfica 6. Alcance del sistema en campo abierto con línea de vista.

5.1.2 PRUEBA DEL SISTEMA UNO A UNO CON LÍNEA DE VISTA A CAMPO CERRADO

Para mayor claridad de cómo se llevó a cabo el procedimiento e implementación de esta prueba, podemos manifestar que nos ubicamos en campo cerrado “pasillos de la Universidad” donde realizamos en repetidas oportunidades trabajo de campo con los módulos bluetooth y demás piezas que componen el dispositivo hasta lograr el resultado final.

Este procedimiento se llevó a cabo bajo los siguientes parámetros:

- Recinto cerrado de 70 m² sin obstáculos móviles con 35 m² de largo y 2 m² de ancho
- Se colocó un módulo en un extremo del recinto a 1 metro de altura y el otro a 1m de distancia a la misma altura en posición horizontal de tal modo que ambas antenas se estuvieran enfrentando.
- Se tomó el valor de la potencia recibida metro a metro hasta la distancia de 35m uno del otro.



Gráfica 7. Alcance del sistema en campo cerrado con línea de vista.

5.1.3 PRUEBA DEL SISTEMA UNO A UNO SIN LÍNEA DE VISTA CON OBSTÁCULOS A CAMPO CERRADO

Para mayor ilustración de cómo se llevó a cabo el procedimiento e implementación de esta prueba, queremos aclarar que nos ubicamos en campo cerrado “pasillos de la Universidad y salones” usando como obstáculos elementos tales como sillas, mesas, tableros, puertas y muros entre otros, pruebas realizadas en repetidas oportunidades.

Este procedimiento se llevó a cabo bajo los siguientes parámetros:

Esta prueba se realizó utilizando un escenario cerrado de 70 m² con obstáculos móviles donde se colocó un módulo bluetooth (*Master*) en un extremo del recinto a 1 metro de altura y el otro módulo (*Slave*) a 1 metro de distancia a la misma altura en posición horizontal de tal modo que ambas antenas se estuvieran enfrentando al celular, tomando medidas de potencia recibida de acuerdo a la tabla 2.

Real(m)	Estimado(m)	Escenario
3,31	5	Salón
5	17	Muro
10	17	Tablero
4	9	Puerta
4	14	Piso a piso

Tabla 3. Medición sistema uno a uno con obstáculos.

Durante la comprobación del funcionamiento del sistema uno a uno nos damos cuenta que el patrón de radiación se ve afectado debido a que dependiendo con qué clase de obstáculos lo coloquemos. En el muro el cual es un obstáculo total, la distancia real contra la distancia estimada es tres veces mayor que lo que

debería ser; cuando lo comparamos con un obstáculo parcial en este caso el tablero se evidencia que la distancia estimada es casi el doble que distancia real, con un obstáculo intermedio como lo es la puerta la distancia real es un poco menos de la mitad de la distancia que estamos estimando; y finalmente con otro obstáculo total como es el piso a piso notamos que tiene un comportamiento muy similar al del muro, es decir es casi el triple entre la distancia real y la estimada. Por lo anterior podemos concluir que entre más denso y firme sea este obstáculo se evidencia que la distancia que vamos a estimar con la potencia va a alterarse en mayor manera.

5.1.4 PRUEBA DEL SISTEMA UNO A UNO CON LOS MODOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA

Para mayor ilustración del procedimiento e implementación de esta prueba se realizó la medición del consumo de corriente por parte del módulo bluetooth, teniendo en cuenta el modo de repartición de la energía (modo alerta, modo normal y modo bajo consumo). A continuación, queremos ilustrar los resultados y valores obtenidos:

Desconectado = 8,5mA

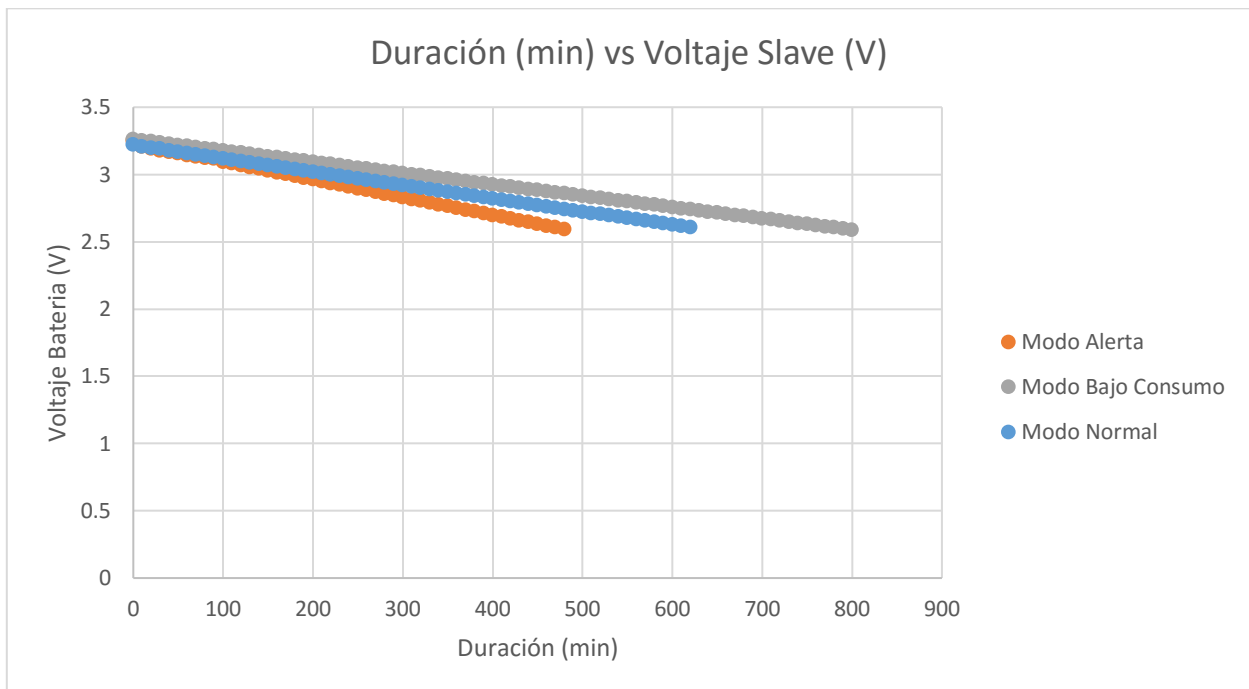
Consumo al momento de activar la alarma sonora (buzzer) = 17.27mA

Modo Normal = 8,64 mA

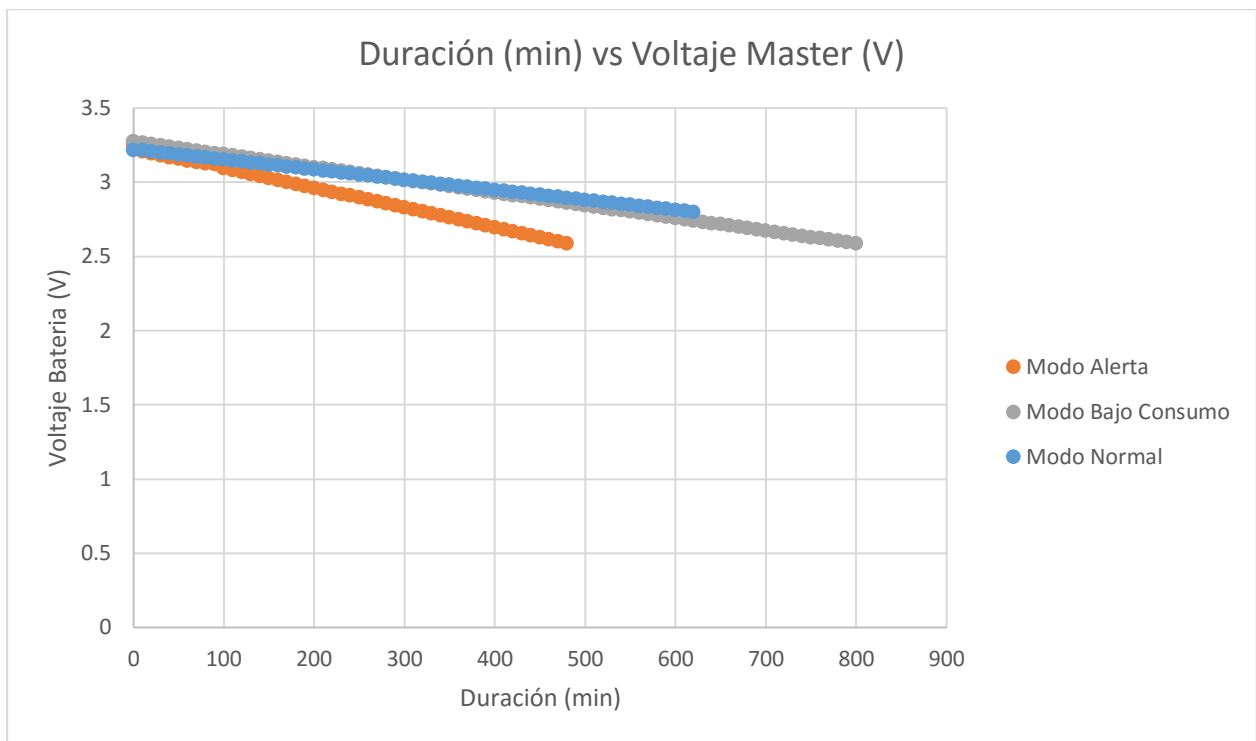
Modo Bajo consumo = 8,21 mA

Modo Alerta = 8,43 mA

Posteriormente se realizó la prueba del sistema uno a uno con los modos de repartición de la energía. Este procedimiento se llevó a cabo bajo los siguientes parámetros: Se hizo seguimiento y evaluación del voltaje de las baterías con intervalos de 10 minutos y luego de una hora de operación del sistema sacamos del radio de alerta (20 metros) el módulo *Slave* observando ambos módulos emiten la alerta sonora.



Gráfica 8. Duración batería *Slave* con modos de operación del sistema.



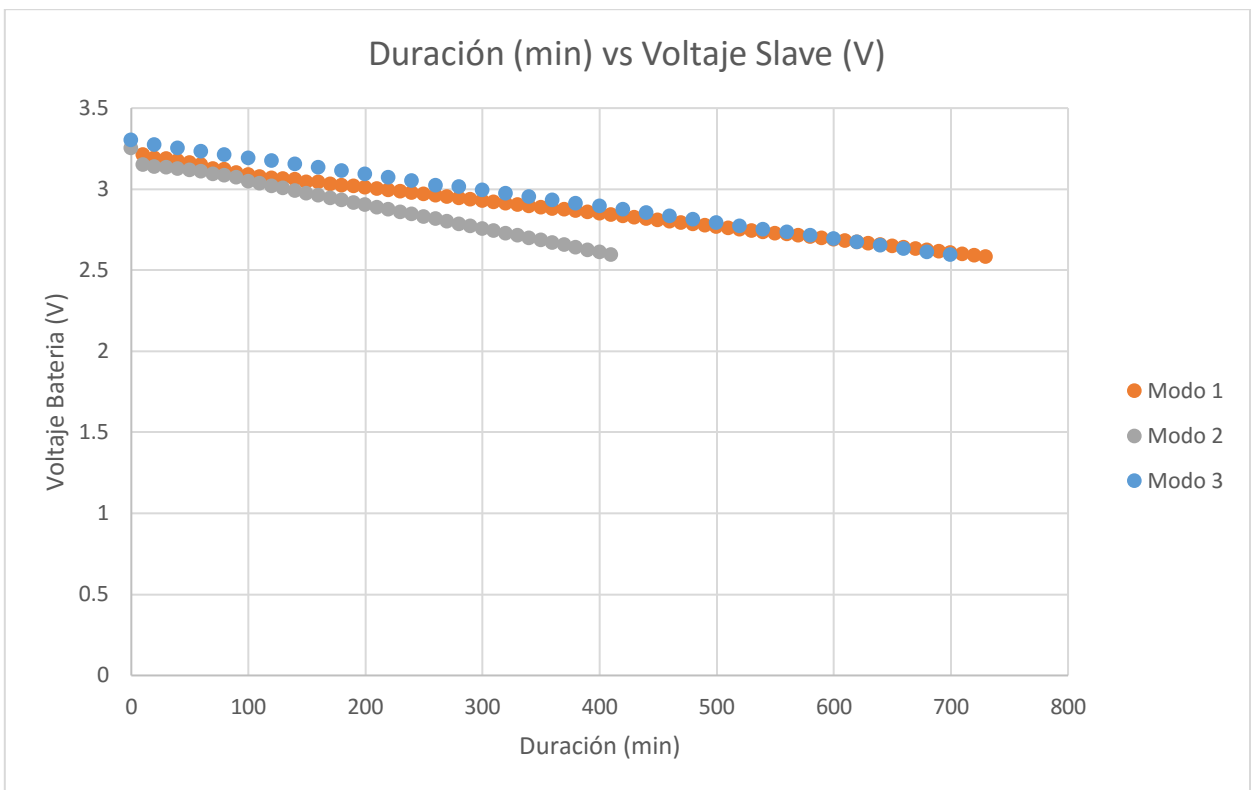
Gráfica 9. Duración batería *Master* con modos de operación del sistema.

5.1.5 PRUEBA DEL SISTEMA UNO A UNO CON LOS MODOS DE REPARTICIÓN DE ENERGÍA

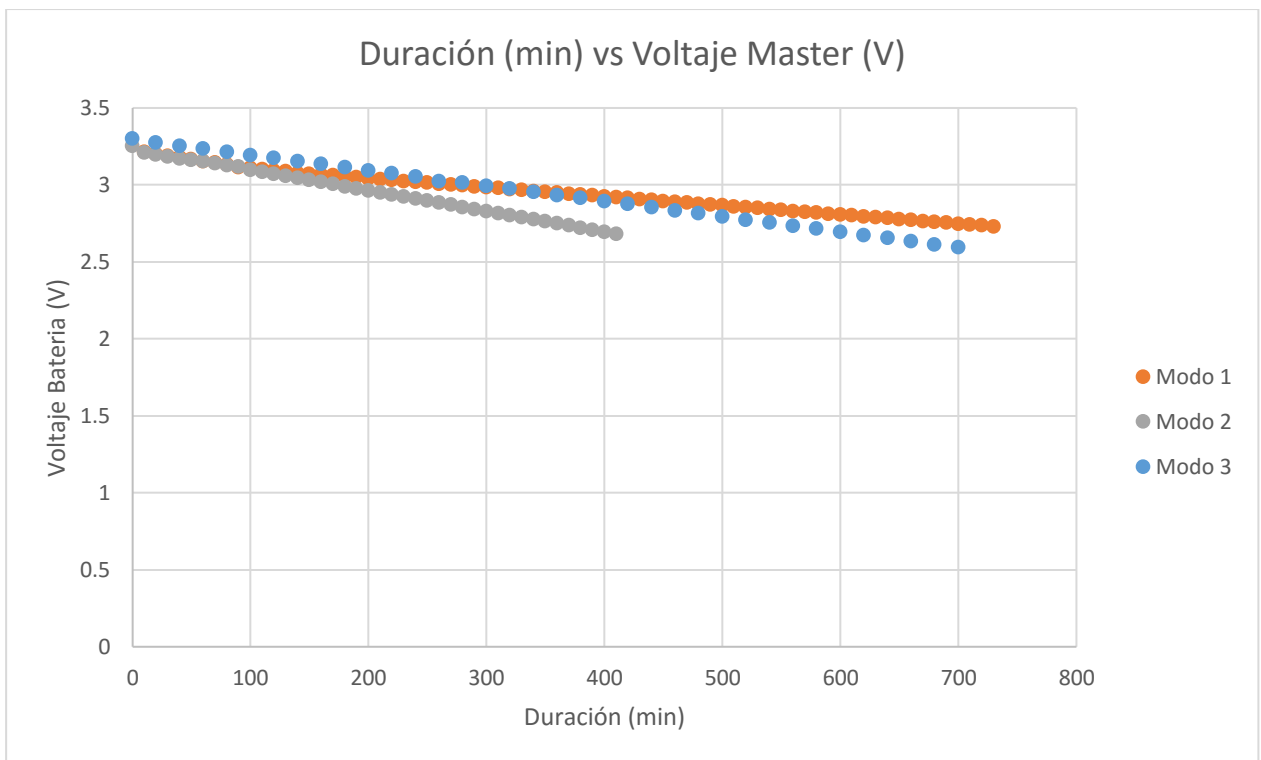
Para esta prueba se compararon los tres (3) modos de repartición de la energía (modo 1, modo 2 y modo 3) esto con el fin de seleccionar cuál era el modo más eficiente e indicado para el éxito del dispositivo.

Este procedimiento se llevó a cabo bajo los siguientes parámetros:

- Se programó cada módulo con su respectivo programa de ARDUINO los cuales fueron master - Slave, master - master y Slave - master.
- Se tomaron medidas de voltaje cada 10 min para evaluar cómo se comportaban los sistemas en modo alerta.
- Esta prueba se llevó a cabo hasta que la batería dejó de alimentar el sistema dejándolo sin funcionamiento.
- El modo 1 correspondo a configurar el *Master* transmitiendo y al *Slave* recibiendo, donde este solo responde una vez ha salido del radio de alerta.
- El modo 2 El modo 1 correspondo a configurar el *Master* transmitiendo y al *Slave* transmitiendo, donde ambos están evaluando la potencia recibida. Además ambos módulos emitirán una alerta sonora en caso de que alguno se aleje del rango de alerta.
- El modo 3 correspondo a configurar el *Master* recibiendo y al *Slave* transmitiendo, donde el *Master* solo responde una vez ha salido del radio de alerta.



Gráfica 10. Duración batería *Slave* con modos de repartición de la energía.



Gráfica 11. Duración batería *Master* con modos de repartición de la energía.

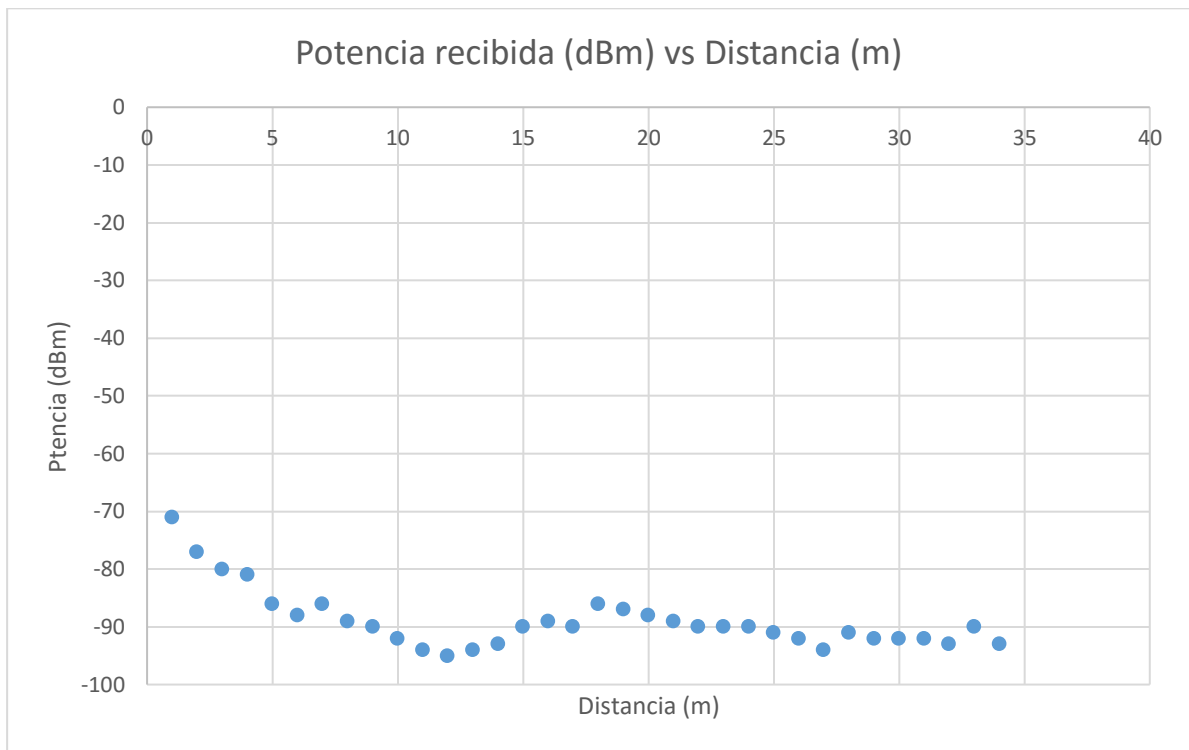
5.2 PRUEBA DEL SISTEMA COMPLETO (CELULAR CON APLICATIVO MÓVIL Y DOS SLAVES)

5.2.1 PRUEBA DEL SISTEMA COMPLETO CON LÍNEA DE VISTA A CAMPO ABIERTO

Para mayor ilustración del procedimiento e implementación de esta prueba nos ubicamos en campo abierto “cancha de fútbol” donde realizamos en repetidas oportunidades trabajo de campo con los módulos bluetooth y demás piezas que componen el dispositivo hasta lograr el resultado final.

Este procedimiento se llevó a cabo bajo los siguientes parámetros:

- Medición de la potencia recibida por parte del módulo Slave teniendo en cuenta que este estuvo fijo y solo hubo movimiento del módulo *Master* (celular).
- El módulo *Master* se desplazó metro a metro, hasta alcanzar los treinta y cinco (35) metros aproximadamente de efectividad.
- La prueba se realizó en terreno a campo abierto, es decir sin obstáculos y con línea de vista.



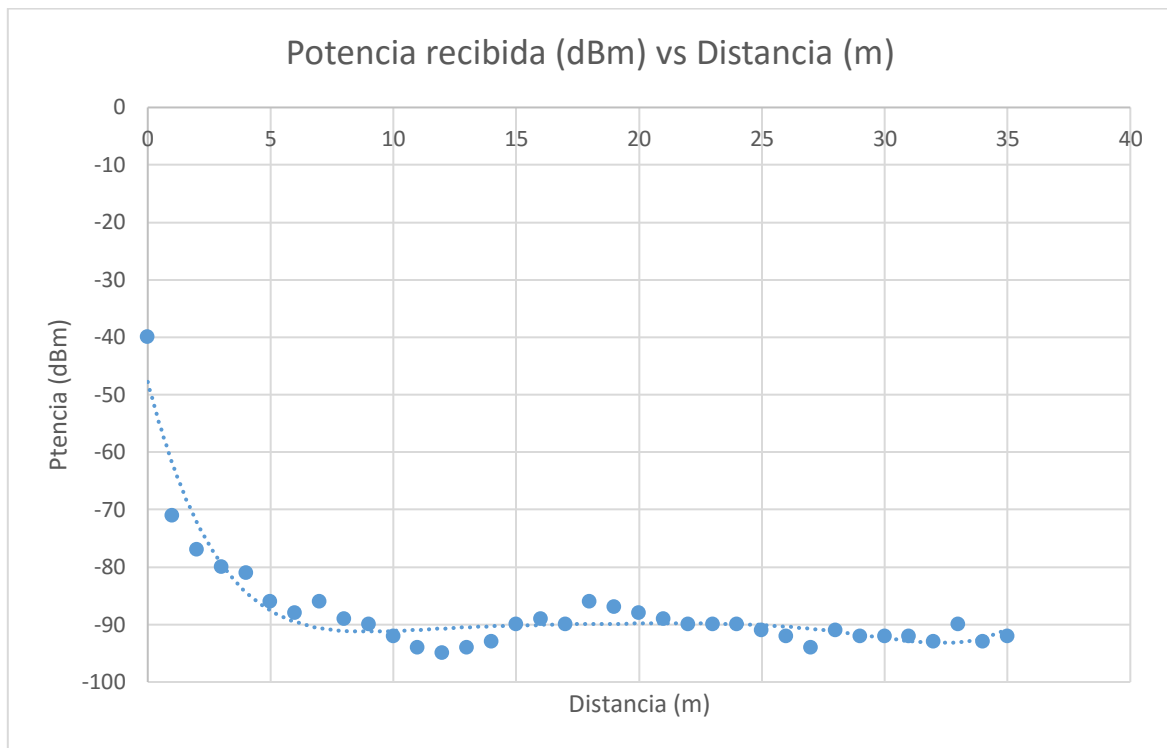
Gráfica 12. Alcance del sistema en campo abierto con línea de vista.

5.2.2 PRUEBA DEL SISTEMA COMPLETO CON LÍNEA DE VISTA A CAMPO CERRADO

Para mayor claridad de cómo se llevó a cabo el procedimiento e implementación de esta prueba, podemos manifestar que nos ubicamos en campo cerrado “pasillos de la Universidad” donde realizamos en repetidas oportunidades trabajo de campo con los módulos bluetooth y demás piezas que componen el dispositivo hasta lograr el resultado final.

Este procedimiento se llevó a cabo bajo los siguientes parámetros:

- Recinto cerrado de 70 m² sin obstáculos móviles con 35 m² de largo y 2 m² de ancho
- Se colocó el celular en un extremo del recinto a 1 metro de altura y los módulos bluetooth a 1m de distancia a la misma altura en posición horizontal de tal modo que ambas antenas se estuvieran enfrentando.
- Se tomó el valor de la potencia recibida metro a metro hasta la distancia de 35m uno del otro.



Gráfica 13. Alcance del sistema en campo cerrado con línea de vista.

5.2.3 PRUEBA DEL SISTEMA COMPLETO SIN LÍNEA DE VISTA CON OBSTÁCULOS A CAMPO CERRADO

Para mayor claridad de cómo se llevó a cabo el procedimiento e implementación de esta prueba, podemos manifestar que nos ubicamos en campo cerrado “pasillos de la Universidad” donde realizamos en repetidas oportunidades trabajo de campo con los módulos bluetooth y demás piezas que componen el dispositivo hasta lograr el resultado final.

Este procedimiento se llevó a cabo bajo los siguientes parámetros:

Esta prueba se realizó utilizando un escenario cerrado de 70 m² con obstáculos móviles donde se colocó el celular en un extremo del recinto a 1 metro de altura y los módulos a 1 metro de distancia a la misma altura en posición horizontal de tal modo que ambas antenas se estuvieran enfrentando al celular, tomando medidas de potencia recibida de acuerdo a la tabla 3.

Real(m)	Estimado(m)	Escenario
3,31	6	Salón
5	19	Muro
10	12	Tablero
9	10	Puerta
4	21	Piso a piso

Tabla 4. Medición sistema completo con obstáculos.

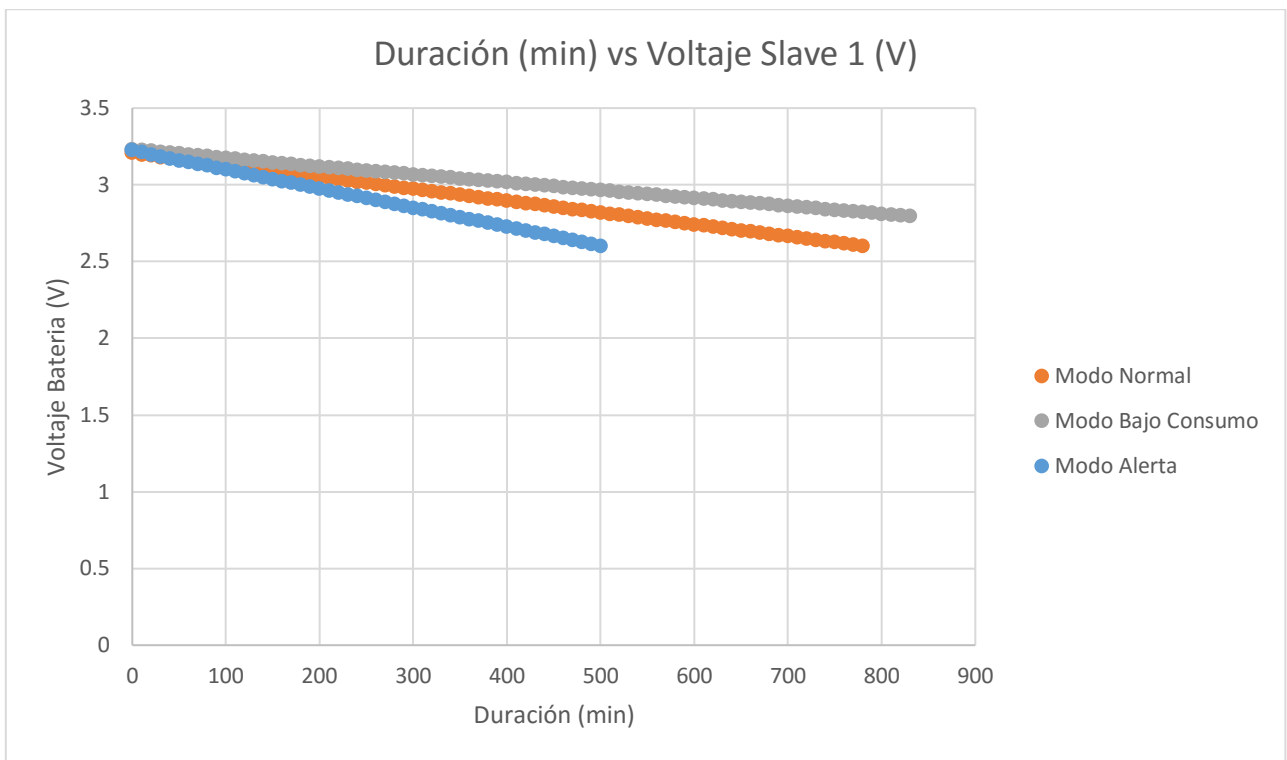
Durante la comprobación del funcionamiento del sistema completo nos damos cuenta que el patrón de radiación se ve afectado dando como resultado que la potencia recibida sea menor en el trasmisor, esto ocurre de igual manera en el sistema uno a uno. Por lo anterior decidimos repetir los mismos escenarios de pruebas con obstáculo en los cuales se puso a prueba el sistema uno a uno. Obtuvimos que con el muro el cual es un obstáculo total obtuvimos que la distancia real contra la distancia estimada es cuatro veces menor que lo que debería ser, cuando lo comparamos con un obstáculo parcial en este caso el tablero sucede que la distancia estimada es casi la misma que la distancia real, con un obstáculo intermedio como lo es la puerta la distancia real es muy parecida a la distancia que estamos estimando y finalmente con otro obstáculo total como es el escenario piso a piso se evidencia que el sistema tiene el comportamiento muy parecido comparado con el escenario del muro, el cual es un poco más de cuatro veces la real con la estimada. Por lo anterior podemos concluir que entre más denso y firme sea este obstáculo notamos que la distancia estimada será alterada en una mayor manera.

5.2.4 PRUEBA DEL SISTEMA COMPLETO CON LOS MODOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA

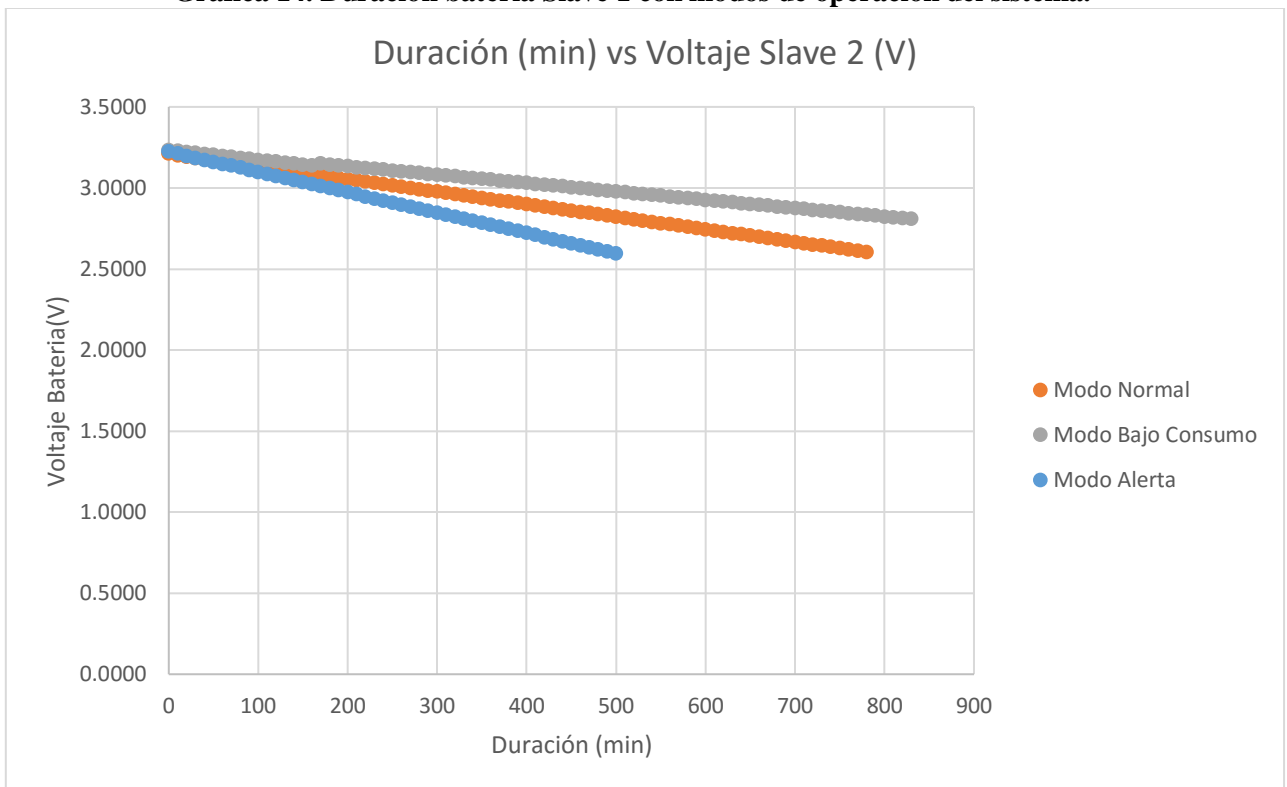
Para mayor ilustración del procedimiento e implementación de esta prueba se realizó la medición del consumo de corriente por parte de los dos (2) módulo bluetooth *Slave*, teniendo en cuenta el modo de repartición de la energía (modo alerta, modo normal y modo bajo consumo).

Este procedimiento se llevó a cabo bajo los siguientes parámetros:

- Se programó cada módulo con su respectivo programa de ARDUINO los cuales fueron master - Slave, master - master y Slave - master.
- Se tomaron medidas de voltaje cada 10 min para evaluar cómo se comportaban los sistemas (módulos *Slaves* y celular) en modo alerta.
- Esta prueba se llevó acabo hasta que la batería dejo de alimentar el Sistema dejándolo sin funcionamiento.



Gráfica 14. Duración batería Slave 1 con modos de operación del sistema.



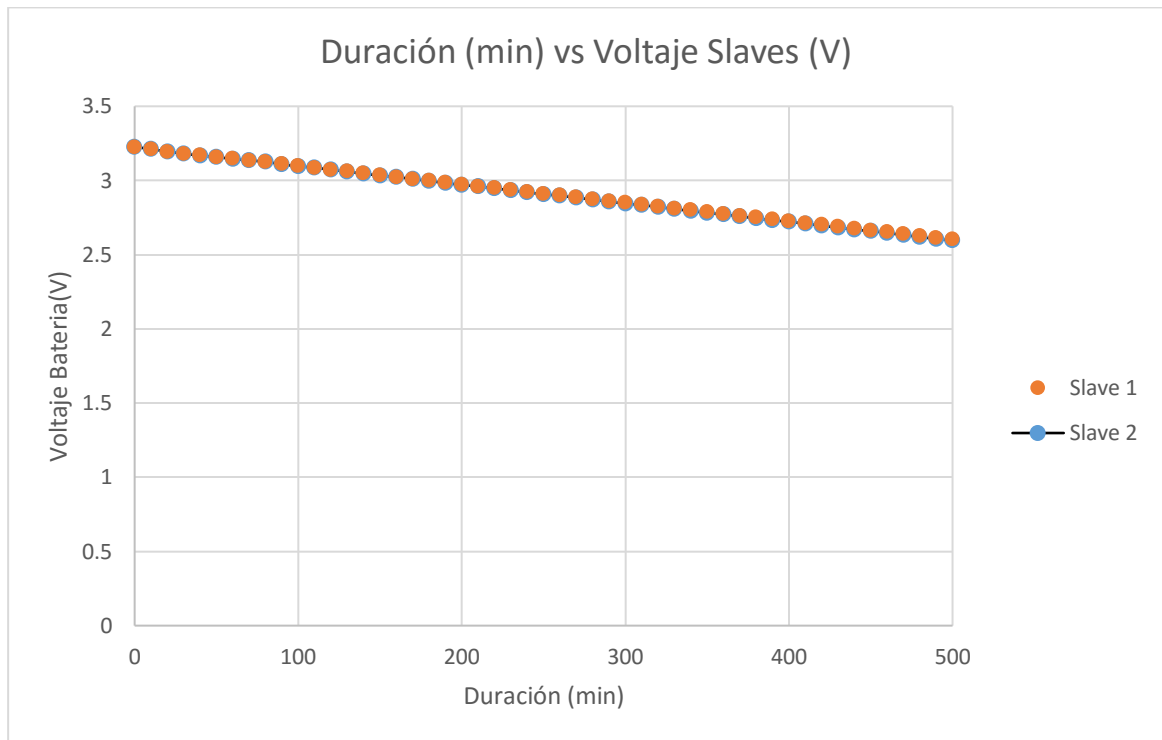
Gráfica 15. Duración batería Slave 2 con modos de operación del sistema.

5.2.5 PRUEBA DEL SISTEMA COMPLETO CON LOS MODOS DE REPARTICIÓN DE LA ENERGÍA

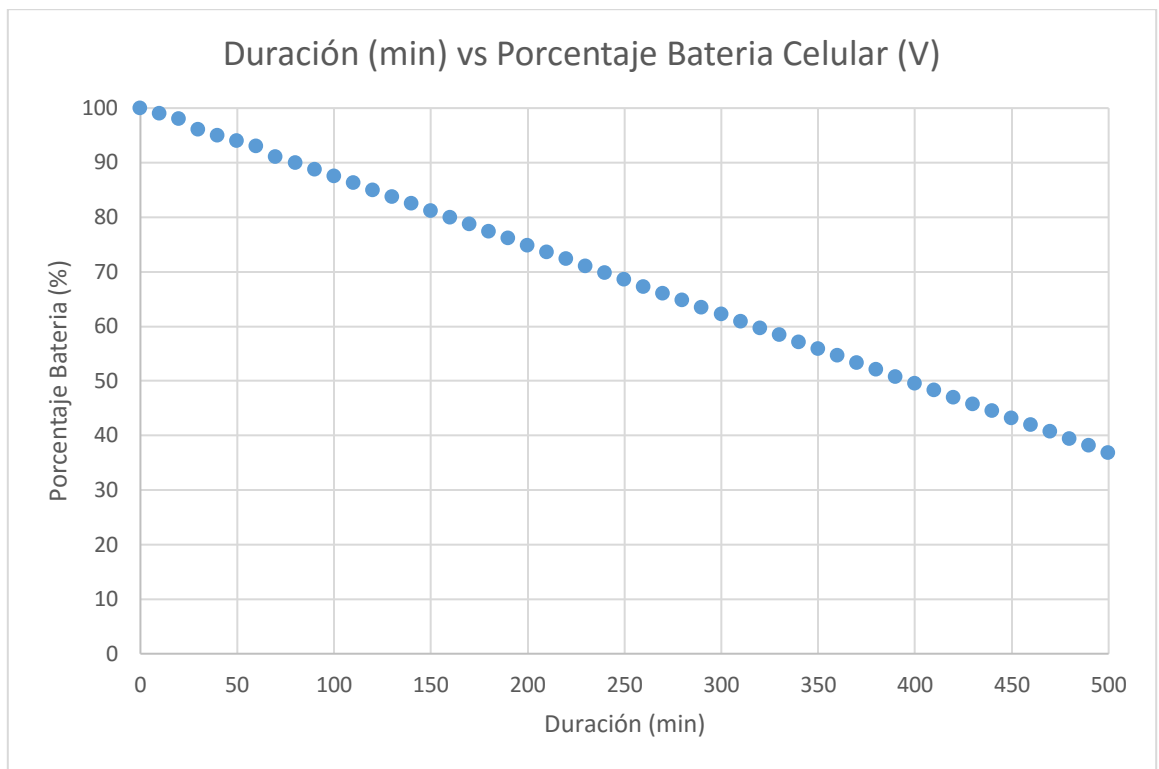
Para esta prueba se evaluó únicamente el sistema en uno de los modos de repartición de la energía (modo 1) esto debido a que el celular no puede dejar de transmitir en ningún momento haciendo que la prueba para el modo 3 no se pueda configurar (para modo receptor). Por otra parte el modo 2 al momento de realizar las pruebas evidenciamos que los módulos bluetooth configurados como Master provocaban que estos se conecten entre ellos (módulos bluetooth como *Master* o *Slave*).

Este procedimiento se llevó a cabo bajo los siguientes parámetros:

- Se programó cada módulo con su respectivo programa de ARDUINO el cual fue *Master* (celular) – *Slaves* (módulos bluetooth).
- Se tomaron medidas de voltaje cada 10 min para evaluar cómo se comportaban los sistemas en modo alerta.
- Esta prueba se llevó acabo hasta que la batería deajo de alimentar el Sistema dejándolo sin funcionamiento.



Gráfica 16. Duración de la batería de los módulos bluetooth (*Slaves*)



Gráfica 17. Duración batería celular (Master).

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, los podemos analizar e interpretar, de acuerdo a los protocolos de prueba implementados en el punto anterior, así;

- ✓ Es evidente la diferencia de la duración del sistema respecto a los tres (3) modos de operación tales como; modo alerta, modo normal y modo bajo consumo. Esta diferencia se visualiza en las pruebas de durabilidad del sistema tanto para el sistema uno a uno (gráfica 14) como para el sistema completo (celular y 2 *Slaves*) tal como se visualiza en la gráfica 15.
- ✓ Se evidencia de manera clara la diferencia entre los tres (3) modos de repartición de la energía toda vez que en las gráficas 10 y 11 se evidencia una diferencia entre los tiempos de vida del sistema. Por lo anterior podemos concluir que el modo más eficiente y eficaz es el modo 1.
- ✓ Se diseñó un algoritmo de estimación de la distancia el cual nos garantiza precisión y estabilidad en la lectura y obtención de datos (resultados) como lo muestra la gráfica 5.
- ✓ Existe coherencia entre la simulación realizada en MATLAB y los resultados obtenidos, debido a que si comparamos la gráfica 8 de la simulación y la gráfica 15 muestran una similitud en la dependencia de la batería y el modo de energía escogido.
- ✓ Existe coherencia entre la simulación realizada en MATLAB y los resultados obtenidos debido a que en el análisis de la figura 7 se ve que a mayor frecuencia menor es el tiempo vida. Lo anterior se pudo comprobar en las pruebas obtenidas en el sistema uno a uno (gráfica 8 y 9) y en las pruebas del sistema completo (gráfica 14 y 15).

- ✓ La tarjeta de desarrollo ARDUINO MEGA2560 nos permitió crear los programas que fueron cargados a los módulos bluetooth con eficientes resultados los cuales se encuentran en los anexos 1 al 11.
- ✓ La investigación y las pruebas de campo nos permitieron concluir que el sistema es mucho más estable y eficiente a campo cerrado y con línea de vista (gráfica 4), es decir la ubicación de las antenas de los módulos frente a frente.
- ✓ El trabajo de investigación nos permite concluir que el aplicativo móvil desarrollado es solamente compatible y efectivo con teléfonos de sistema operativo ANDROID y versiones de API mayores o iguales al número diez y nueve (19).
- ✓ Al realizar las pruebas concernientes a los modos de repartición de la energía, se observó que para el modo uno (1) el celular no tiene inconveniente de transmitir mensajes, y el módulo bluetooth tampoco presenta inconveniente para recepción de mensajes.
- ✓ La investigación nos permitió detectar que al realizar las pruebas del modo dos (2) de la repartición de la energía, el celular no puede programarse solo para recibir mensajes debido a que está diseñado también para transmitir mensajes, de manera permanente.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

El presente trabajo de investigación, puede concluir que, de acuerdo a las pruebas realizadas tanto de campo como de laboratorio, el diseño e implementación del dispositivo anti pérdida de objetos personales cumple los objetivos trazados, sustentados así;

- Los modos de operación del sistema utilizados sirven para determinar el tiempo de utilidad de la batería y establecer el grado de efectividad de acuerdo a la velocidad con que se aleja.
- Este dispositivo está compuesto por tres (3) modos de operación del sistema los cuales son; modo bajo consumo, modo normal y modo alerta.
- Los modos de repartición de la energía se encargan de la distribución de manera eficiente de la misma, permitiendo su uso de manera eficiente y adecuada.
- El dispositivo diseñado por su tamaño, eficiencia y utilidad facilita su implementación permitiendo presentar un producto práctico, innovador y funcional.
- En los escenarios de pruebas se evidencia una gran diferencia entre la distancia real y la estimada por el algoritmo de distancia, aclarando que el sistema no deja de emitir el mensaje de alerta.

En el desarrollo del presente trabajo de grado como recomendación especial proponemos que se puede profundizar más en el tema de la alarma sonora de cada dispositivo con el fin de lograr un menor consumo de corriente para activar dicha alarma, haciendo este circuito más eficiente y mucho más pequeño en tamaño, lo cual beneficiaría en poder utilizar unas pilas más pequeñas, haciendo con ello más portátil el dispositivo para que sea más fácil de usar en cualquier momento y con un tiempo de vida más largo, también recomendamos hacer un análisis más profundo en el patrón de radiación del bluetooth para poder hacer un algoritmo de estimación de la distancia mucho más eficiente y exacto.

Además, sugerimos hacer más compatible el aplicativo móvil ya que es necesario comparar con diferentes modelos, toda vez que no todos los celulares tienen la misma versión de bluetooth, y sus patrones de radiación pueden ser diferentes haciendo que el algoritmo de distancia varíe en cada uno. También recomendamos implementar o diseñar un botón en la aplicación para activar la alarma sonora de los Slave para que no solo funcione para cuando se salga del radio de acción, sino también para poder localizarlo cuando se encuentra dentro del rango.

8. BIBLIOGRAFÍA:

[1]Bluetooth 4.0 BLE module, 1st ed. JNHuaMao Technology Company, 2016 [Online]. Available: http://file:///Users/Mao/Desktop/bluetooth40_en.pdf.

[2]2016. [Online]. Available: http://fab.cba.mit.edu/classes/863.15/doc/tutorials/programming/bluetooth/bluetooth40_en.pdf.

[3]"Serial AT Commands con Arduino - Blascarr", Blascarr, 2016. [Online]. Available: <http://blascarr.com/serial-at-commands-con-arduino/>.

[4]"AndroidYa (con Android Studio)", Tutorialesprogramacionya.com, 2016. [Online]. Available: <http://www.tutorialesprogramacionya.com/javaya/androidya/androidstudioya/>.

[5]"Bluetooth 4.0 Low Energy | Tutoriales Arduino", Prometec.net, 2016. [Online]. Available: <http://www.prometec.net/bluetooth-le/>.

[6]2016. [Online]. Available: <http://data.energizer.com/PDFs/E92.pdf>.

[7]R. Jain, Channel Models A Tutorial1, 1st ed. 2007, p. 21.

[8]2016. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/swrs084f/swrs084f.pdf>.

9. ANEXOS:

Anexo 1: Código en Arduino Slave modo de repartición transmisor receptor y en modo de repartición de la energía en Alerta. (Uno a Uno).

Anexo 2: Código en Arduino Master modo de repartición transmisor receptor y en modo de repartición de la energía en Alerta (Uno a Uno).

Anexo 3: Código en Arduino Slave modo de repartición transmisor receptor y en modo de repartición de la energía en Normal. (Uno a Uno).

Anexo 4: Código en Arduino Master modo de repartición transmisor receptor y en modo de repartición de la energía en Normal (Uno a Uno).

Anexo 5: Código en Arduino Slave modo de repartición transmisor receptor y en modo de repartición de la energía en Bajo consumo. (Uno a Uno).

Anexo 6: Código en Arduino Master modo de repartición transmisor receptor y en modo de repartición de la energía en Bajo consumo (Uno a Uno).

Anexo 7: Código en Arduino Slave modo de repartición transmisor transmisor y en modo de repartición de la energía en Alerta (Uno a Uno).

Anexo 8: Código en Arduino Master modo de repartición transmisor transmisor y en modo de repartición de la energía en Alerta (Uno a Uno).

Anexo 9: Código en Arduino Slave modo de repartición receptor transmisor y en modo de repartición de la energía en Alerta (Uno a Uno).

Anexo 10: Código en Arduino Master modo de repartición receptor transmisor y en modo de repartición de la energía en Alerta (Uno a Uno).

Anexo 11: Código en Arduino Slave de los módulos para la APP.

Anexo 12: Código en Matlab simulación de los modos de repartición de la energía.

Anexo 13: Código en Android Studio de la aplicación móvil.

Anexo 14: DataSheet del CC2540 Low energy, Texas Instrument.

Nota: Los anexos anteriores se encuentra en el siguiente link.

<https://www.dropbox.com/s/2uk09itbrigutuy/Anexos.zip?dl=0>