

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:  
DETECCIÓN DE METALES CONDUCTIVOS EN MINAS A CIELO ABIERTO  
DE DIFÍCIL ACCESO MEDIANTE UN DRONE**

**AUTORES:  
CRISTHIAN DAVID AGUIRRE YUMISEBA  
CHRISTIAN RAINIERO GUILLÉN ABAD**

**TUTORA:  
CARMEN JOHANNA CELI SÁNCHEZ**

**Quito, agosto del 2019**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros Cristhian David Aguirre Yumiseba con Cédula de Identidad No 1722049283 y Christian Rainiero Guillén Abad con Cédula de Identidad No 1726493255, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DETECCIÓN DE METALES CONDUCTIVOS EN MINAS A CIELO ABIERTO DE DIFÍCIL ACCESO MEDIANTE UN DRONE”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



---

Cristhian David Aguirre Yumiseba  
C.I. 1722049283



---

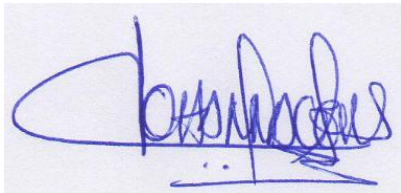
Christian Rainiero Guillén Abad  
C.I. 1726493255

Quito, agosto del 2019

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Técnico “DETECCIÓN DE METALES CONDUCTIVOS EN MINAS A CIELO ABIERTO DE DIFÍCIL ACCESO MEDIANTE UN DRONE”, realizado por Cristhian David Aguirre Yumiseba y Christian Rainiero Guillén Abad, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, agosto del 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carmen Johanna Celi Sánchez', written over a horizontal line.

Carmen Johanna Celi Sánchez

C.I. 1717437808

## DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado a Dios, al Divino Niño, quienes me han brindado sabiduría, inteligencia y me han protegido a lo largo de mi vida.

A mis padres René y Cecilia quienes han dedicado su vida para que cumpla mis metas, por su sacrificio silencioso y el amor incondicional que me han dado. A mis ángeles en el cielo Elena y Antonio que desde mi nacimiento estuvieron siempre presentes, brindándome su apoyo incondicional.

A mi hermano Israel que compartió conmigo los momentos más felices y difíciles de mi vida, -deseando que de tu vida universitaria obtengas el mayor provecho y después puedas disfrutar de ese trabajo que realizaste.

*Cristhian David*

Quiero expresar mi gratitud a Dios quien con su bendición ha estado siempre conmigo y mi familia. Principalmente dedico este proyecto a mis padres Rolando y Celmira, por su trabajo y apoyo incondicional en cualquier momento ya que gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en una gran persona y profesional. Les amo con todas las fuerzas de mi alma y de mi corazón.

A mi hermano Joan quien siempre ha sido mi gran ejemplo a seguir en la vida y por siempre estar apoyándome en los momentos buenos y malos. A mi *negra* ya que siempre está para apoyarme en todo momento y, sobre todo, por enseñarme a ser una mejor persona.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos y familiares por estar siempre conmigo siendo un apoyo incondicional y siempre brindándome palabras de aliento. Me siento agradecido que Dios los haya puesto en mi camino.

*Christian Rainiero*

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros padres que siempre han sido un apoyo para guiarnos en la vida con su sabiduría. A nuestros familiares por ser un apoyo incondicional en toda mi vida.

A la Ingeniera Johanna Celi, MSc. por su amistad, apoyo y su conocimiento compartido a lo largo de toda nuestra carrera y asesoría de este proyecto.

A los profesores a quienes les debemos nuestros conocimientos compartidos y nuestra formación profesional. A nuestros amigos del colegio, de la vida y de la Universidad por estar siempre en buenos y malos momentos.

Finalmente, a esta prestigiosa Universidad por permitirnos formarnos como grandes personas y profesionales.

*Cristhian David & Christian Rainiero*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	v
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>ANTECEDENTES</b> .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos .....	1
1.3.1 Objetivo general .....	1
1.3.2 Objetivos específicos .....	2
1.4 Alcance del Proyecto .....	2
1.5 Metodología.....	2
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	4
<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	4
2.1 Minería a cielo abierto .....	4
2.2 Afectación del entorno en general .....	4
2.3 Tipos de minería a cielo abierto .....	4
2.4 Normativas para la minería a cielo abierto .....	5
2.5 Detector de metales.....	5
2.6 Tipos de bobinas detectoras de metales .....	6
2.6.1 Tipos de configuraciones en bobinas emisoras y receptoras .....	6
2.7 SIM 808 módulo GSM, GPRS, GPS .....	7
2.8 Drone.....	8
2.8.1 Parámetro del Drone DJI Phantom 3 .....	8
2.9 Oscilador Electrónico.....	9

2.10	El Oscilador BFO .....	10
2.11	El Oscilador local y oscilador de exploración.....	11
2.12	Mecanismo de conductividad de los metales .....	12
<b>CAPÍTULO 3</b> .....		13
<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL DETECTOR DE METALES</b> .....		13
3.1	Arquitectura del sistema detector de metales .....	13
3.2	Implementación del detector de metales en el drone.....	15
3.3	Especificaciones del detector de metales .....	16
3.3.1	Oscilador local y oscilador de exploración .....	17
3.4	Circuito del detector de metales BFO.....	20
3.5	Programación para la discriminación de los metales conductores .....	23
3.6	Parámetros de la bobina detectora .....	25
3.7	Software de implementación .....	26
3.8	Fabricación en placas PBC del circuito detector de metales.....	26
3.8.1	Tarjeta principal del circuito detector de metales.....	27
3.8.2	Segunda tarjeta del circuito detector de metales .....	28
<b>CAPÍTULO 4</b> .....		29
<b>PRUEBAS DEL SISTEMA EN LA DETECCIÓN DE METALES</b> .....		29
4.1	Pruebas con las bobinas para el Detector de Metales .....	29
4.2	Pruebas en el envío de mensaje de texto hacia un dispositivo móvil .....	43
4.3	Pruebas en la comunicación serial al Arduino UNO .....	44
CONCLUSIONES .....		45
RECOMENDACIONES .....		47
BIBLIOGRAFÍA .....		48
ANEXOS		

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Drone DJI Phantom 3 standard.....	9
Figura 2.2 Diagrama de bloques oscilador electrónico.....	10
Figura 2.3 Diagrama de bloques oscilador Colppits.....	10
Figura 2.4 Diagrama del oscilador local .....	11
Figura 2.5 Diagrama del oscilador de exploración .....	12
Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema detector y discriminador de metales.....	13
Figura 3.2 Ubicación de los elementos indicadores y de control .....	14
Figura 3.3 Ubicación de los elementos de control.....	15
Figura 3.4 Implementación del detector de metales en el drone .....	16
Figura 3.5 Diagrama de bloques del detector de metales BFO .....	16
Figura 3.6 Diagrama de bloques del detector de metales BFO .....	20
Figura 3.7 Circuito de implementación detector de metales BFO .....	21
Figura 3.8 Etapa de acoplamiento y amplificación de señal .....	22
Figura 3.9 Circuito comunicación Arduino.....	23
Figura 3.10 Diagrama de flujo de la programación del discriminador de metales.....	24
Figura 3.11 Elaboración de la Bobina Detectora.....	26
Figura 3.12 Tarjeta principal del circuito detector de metales .....	27
Figura 3.13 Implementación circuito principal .....	27
Figura 3.14 Segunda tarjeta del circuito detector de metales.....	28
Figura 3.15 Implementación de la segunda tarjeta .....	28
Figura 4.1 Tipos de bobinas para el detector de metales .....	29
Figura 4.2 Gráfica de pruebas de detección con la configuración A hasta 3 cm .....	30
Figura 4.3 Gráfica de pruebas de discriminación con la configuración A hasta 3 cm ...	31
Figura 4.4 Gráfica de pruebas de detección con la configuración A hasta 5 cm .....	32
Figura 4.5 Gráfica de pruebas de discriminación con la configuración A hasta 5 cm ...	33
Figura 4.6 Gráfica de pruebas de detección con la configuración B hasta 3 cm.....	34
Figura 4.7 Gráfica de pruebas de discriminación con la configuración B hasta 3 cm....	35



Figura 4.8 Gráfica de pruebas de detección con la configuración B hasta 5 cm.....	36
Figura 4.9 Gráfica de pruebas de discriminación con la configuración B hasta 5 cm....	37
Figura 4.10 Gráfica de pruebas de detección con la configuración C hasta 3 cm.....	38
Figura 4.11 Gráfica de pruebas de discriminación con la configuración C hasta 3 cm..	39
Figura 4.12 Gráfica de pruebas de detección con la configuración C hasta 5 cm.....	40
Figura 4.13 Gráfica de pruebas de discriminación con la configuración C hasta 5 cm..	41
Figura 4.14 Visualización del mensaje de texto en diferentes dispositivos móviles .....	43
Figura 4.15 Visualización de la comunicación serial .....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características técnicas de la SIM808 .....	8
Tabla 2.2 Conductividad eléctrica de varios metales.....	12
Tabla 3.1 Cálculo de armónicos del detector .....	18
Tabla 3.2 Cálculo de subarmónicos del detector.....	18
Tabla 3.3 Suma algebraica de las frecuencias locales y exploratorias. ....	19
Tabla 3.4 Parámetros de la Bobina Detectora .....	25
Tabla 3.5 Software de implementación.....	26
Tabla 4.1 Pruebas de detección con la configuración A hasta 3 cm.....	30
Tabla 4.2 Pruebas de discriminación con la configuración A hasta 3 cm .....	31
Tabla 4.3 Pruebas de detección con la configuración A hasta 5 cm.....	32
Tabla 4.4 Pruebas de discriminación con la configuración A hasta 5 cm .....	33
Tabla 4.5 Pruebas de detección con la configuración B hasta 3 cm.....	34
Tabla 4.6 Pruebas de discriminación con la configuración B hasta 3 cm.....	35
Tabla 4.7 Pruebas de detección con la configuración B hasta 5 cm.....	36
Tabla 4.8 Pruebas de discriminación con la configuración B hasta 5 cm.....	37
Tabla 4.9 Pruebas de detección con la configuración C hasta 3 cm.....	38
Tabla 4.10 Pruebas de discriminación con la configuración C hasta 3 cm.....	39
Tabla 4.11 Pruebas de detección con la configuración C hasta 5 cm.....	40
Tabla 4.12 Pruebas de discriminación con la configuración C hasta 5 cm.....	41
Tabla 4.13 Porcentaje de aprobación según las configuraciones de la bobina.....	42
Tabla 4.14 Distancia de detección con la configuración B .....	42
Tabla 4.15 Distancia de detección, configuración B con metal visible y enterrado.....	43

## **RESUMEN**

Se desarrolló un detector que permite realizar la discriminación de diferentes metales conductivos en la minería a cielo abierto, este detector se implementa en un dron el cual lo trasladará por lugares de difícil acceso para el ser humano. Al momento de encontrar un metal el detector lo discriminará y emitirá una señal lumínica y sonora, además enviará un mensaje de texto hacia dispositivos móviles ya elegidos previamente indicando que tipo de metal se ha encontrado.

En el circuito de detección ingresan dos frecuencias mediante dos osciladores, el de frecuencia fija a través de un resonador cerámico y el de frecuencia variable a través de una bobina la cual es la cabeza de exploración del detector, el circuito realizará la unión de ambas señales mediante una suma algebraica dando una señal audible para el ser humano. El circuito de discriminación es la comunicación entre el detector y una placa de desarrollo de hardware que realiza una comparación de señales.

El proyecto ayudará a organizaciones o personas que realicen minería a cielo abierto y deseen encontrar cobre, hierro y estaño en lugares de difícil acceso para el ser humano.

## **ABSTRACT**

A detector was developed that allows the discrimination of different metals conductive in open-pit mining, this detector is implemented in a drone on which will move it through places that are difficult for human beings to access. At the time of find a metal the detector will discriminate and emit a light and sound signal, it will also send a text message to previously chosen mobile devices indicating what type of metal has been found.

In the detection circuit, two frequencies enter through two oscillators: fixed frequency through a ceramic resonator and the variable frequency through a coil which is the scan head of the detector, the circuit will make the union of both signals by an algebraic sum giving an audible signal for the being human. The discrimination circuit is the communication between the detector and a board of hardware development that performs a comparison of signals.

The project will help organizations or people who perform open-pit mining and they want to find Copper, Iron and Tin in places that are difficult for human beings to access.

## INTRODUCCIÓN

En el siguiente Trabajo de Titulación se presenta el diseño e implementación de un detector de metales conductivos en minería a cielo abierto de difícil acceso mediante un dron perteneciente a la Carrera de Ingeniería Electrónica. Este proyecto tiene la finalidad de ayudar a organizaciones o personas para que realicen minería a cielo abierto y deseen encontrar algún tipo de metal en lugares peligrosos ya que el suelo se encuentra frágil o resbaloso. El uso del dron facilitará la exploración más aun cuando las superficies quedan inestables y el personal no puede ingresar.

El capítulo uno describe el tema del proyecto, planteamiento del problema, justificación, objetivo general y objetivos específicos, alcance del proyecto, metodología a emplear en el proyecto técnico.

El capítulo dos abarca conceptos para fundamentar el proyecto técnico partiendo de la minería a cielo abierto, afectación del entorno en general, tipos de minería a cielo abierto, normativas para la minería a cielo abierto, especificación del detector de metales, tipos de detectores de metales y configuraciones de bobinas emisoras y receptoras, además de los dispositivos electrónicos que conforman el proyecto técnico.

El capítulo tres exterioriza el diseño e implementación del software y hardware del detector de metales conductores especificando la ubicación de cada elemento de los circuitos y su programación.

El capítulo cuatro muestra las pruebas de campo, mecánica y datos obtenidos en las pruebas de campo realizadas al proyecto técnico.

Finalmente, se presentan las respectivas conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado y en anexos se encuentra la programación para la discriminación de los metales.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 Planteamiento del problema**

La explotación minera depende de diferentes factores y muchos de ellos van de acuerdo a la ubicación. El problema se enfoca en minas a cielo abierto en las que el riesgo a la seguridad humana es elevado, pero en el que las ganancias económicas son altas.

En las minas a cielo abierto se quiere detectar metales conductivos, pero con la ayuda extra de aparatos eléctricos, electrónicos o mecánicos a la mano de obra humana se facilita esta labor.

Además, facilita el ingreso a entornos difíciles, pues no se expone al trabajador a un posible riesgo y futuras demandas, así como alargar las jornadas de trabajo con la ayuda de robots.

### **1.2 Justificación**

La utilización de elementos eléctricos, electrónicos o mecánicos en lugares de difícil acceso o con riesgo de derrumbe, ha favorecido de gran manera a la seguridad en distintas áreas debido a que no se expone a las personas a riesgos innecesarios que pueden causar lesiones leves, graves, permanentes o incluso la muerte.

De tal manera la utilización de estos aparatos contribuye con la seguridad y un trabajo óptimo, pues se reduciría los accidentes que se dan en la minería.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Detectar metales conductivos con un drone en minería a cielo abierto de difícil acceso para su localización mediante alarmas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Investigar los métodos para que un drone pueda viajar en minería a cielo abierto para que no colisione ni sufra ningún daño durante su expedición.
- Adquirir la señal de los sensores que permitan la detección de la conductividad y la presencia de metales conductivos para enviarla a un dispositivo telefónico móvil o Tablet mediante un módulo GSM.
- Implementar un sistema de alarmas sonoras y visibles en el drone para que el operador tenga conocimiento de la existencia de los metales conductivos.
- Realizar las pruebas de funcionamiento en minería a cielo abierto para la determinación de la eficiencia del hardware y software.

### **1.4 Alcance del Proyecto**

El robot será utilizado para localizar metales conductivos que se encuentren bajo tierra, con un alcance de detección de máximo 50 cm en metales de gran magnitud, en donde el drone emitirá señales sonoras y lumínicas.

La variación de la detección de metales conductivos puede ser alta por lo que se separará en grupos que diferencien la conductividad del metal; para que proyectos posteriores tengan la posibilidad de ampliar los tipos de metales a reconocer como también ampliar la distancia de detección.

### **1.5 Metodología**

Como estudiantes de Ingeniería Electrónica con mención en Sistemas Industriales se propone realizar un prototipo de detector de metal mediante un drone el cual realizará la búsqueda del metal para ayudar a diferentes organizaciones a encontrarlo en distintos lugares de difícil acceso.

Se parte de la premisa que las organizaciones o personas que realizan minería a cielo abierto desean encontrar algún tipo de metal en lugares los cuales ya están siendo explotados y por estas razones son peligrosos ya que el suelo se encuentra frágil, resbaloso o es de difícil acceso lo cual puede ocasionar algún accidente al momento que una persona realice este tipo de trabajo.

Se utiliza el método experimental y deductivo para realizar el modelado del drone para que este pueda ser manejado sin que sufra colisiones en los diferentes campos que será ingresado; además de colocársele indicadores sonoros y lumínicos para indicar la presencia de un metal conductor y la implementación de un módulo GSM el cual enviará un mensaje textual para indicar un hallazgo de qué tipo de metal conductor se trate. Se elaborará diagramas de flujo que ayudaran a una correcta programación del drone.

Mediante el método cuantitativo y estadístico se procede a realizar pruebas del drone en minería a cielo abierto y de difícil acceso sin que pueda sufrir ningún daño, además del correcto funcionamiento de sus indicadores como es el lumínico, sonoro y textual.



## **CAPÍTULO 2**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.1 Minería a cielo abierto**

La minería se ha modificado de gran manera a partir del siglo XX, de tal forma que las explosiones de suelos subterráneos pasaron a yacimientos de minería a cielo abierto que contienen una cantidad menor de minerales expuestos a la capa superficial de la tierra. (Geoinnova Asocioación, 2016)

Este tipo de minería se promueve luego de que las extracciones subterráneas se van convirtiendo en un peligro latente pues la seguridad y la salud de los trabajadores se va tornando deteriorado. Al ver que las explosiones subterráneas dejan materiales, el interés de aprovechar el suelo removido crece, pues los trabajadores ya no se exponen a peligros mayores. (Justicia, 2016)

#### **2.2 Afectación del entorno en general**

Este tipo de minería cubre grandes dimensiones de la superficie, así como los vertederos utilizados, la vivienda, las vías de transporte, plantas de tratamiento, etc., todos ellos implican una afectación a la superficie, significando una alteración a la corteza terrestre que van desde dejar el terreno estéril, destrucción de áreas cultivadas, cambio de trayectoria en afluentes cercanos a la zona explotada. (España & Serna, 2016)

#### **2.3 Tipos de minería a cielo abierto**

Con la necesidad de trabajar las minerías a cielo abierto, se toma en cuenta el lugar y la extensión de la mina por lo que se encuentran distintos tipos que son: (Arévalo, 2017)

- **Canteras:** Generalmente su ubicación es en montañas o en formaciones rocosas. No son de gran tamaño y su uso se destina para la extracción de rocas industriales y ornamentales.

- **Cortas:** No son de gran extensión, pero su profundidad aumenta a medida que se va encontrando elementos metálicos.
- **Aluviones:** Su ubicación depende del lugar donde se depositen los sedimentos después de que son arrastrados. Y los minerales son separados por la corriente de agua.

#### **2.4 Normativas para la minería a cielo abierto**

En el Artículo 134 de la Minería Artesanal indica que se aplica a unidades económicas populares, emprendimientos unipersonales, familiares que realicen trabajos dentro de la circunscripción territorial respecto de la cual se hubiere otorgado el correspondiente permiso en los cuales se utilizan maquinarias y equipos con capacidades limitadas de carga y producción. Por lo cual este tipo de minería no está sujeta a pagos de regalías ni de patentes, pero sí de régimen tributario para garantizar los ingresos que le corresponden al Estado. (ley minera (Dirección Nacional Jurídica, Departamento de Normativa Tributaria), 2018)

Los permisos que otorgue el Ministerio Sectorial no podrán exceder las 4 hectáreas mineras, ni de 6 hectáreas para labores a cielo abierto ni otorgar un plazo mayor de 10 años. Para su capacidad de producción y procesamiento, con respecto a la distribución de la mineralización al igual que los diferentes métodos de explotación y procesamiento técnico se establecieron capacidades de producción de material mineralizado. Para minerales metálicos se estableció en minería subterránea y minería de aluviales en un total hasta 10 toneladas y 120 metros cúbicos por día respectivamente. (ley minera (Dirección Nacional Jurídica, Departamento de Normativa Tributaria), 2018)

#### **2.5 Detector de metales**

Es un instrumento electrónico que mediante la transmisión de campo electromagnético o una serie de impulsos electromagnéticos tiene la capacidad de detectar objetos metálicos. La funcionalidad y uso de este tipo de detectores va desde búsqueda en minas

hasta la seguridad de personas dependiendo el área en que se encuentre con sensores inductivos. (Electropolis, 2017)

## **2.6 Tipos de bobinas detectoras de metales**

Para la selección se analizan varios factores como, por ejemplo, el tamaño de la bobina sensora ya que con ello se determina el tamaño y profundidad del campo magnético que es sensible a los objetos metálicos próximos, su configuración debido a que no todas trabajan de la misma forma dentro del plato en las que se ubican para detectar metales varía según la aplicación. (Detector Power, 2017)

Las bobinas sensoras más utilizadas son las de forma elíptica o circular. La elíptica gracias a su estrecho haz da mayor cobertura, además de ser más adaptable para cualquier campo. La circular se ha convertido en la bobina preferida ya que por su forma da mayor profundidad de detección. Existen bobinas menores a 6" para objetos pequeños; medianas de 6" a 11" para objetos medianos y grandes mayores a 11" con una característica específica de generar un gran campo magnético el cual proporciona gran cobertura y mayor profundidad en su alcance. Cada una se usa de acuerdo a su aplicación. (Garret, 2019)

### **2.6.1 Tipos de configuraciones en bobinas emisoras y receptoras**

Básicamente existen 5 tipos de configuraciones en las cuales se diferencian por la disposición de las bobinas transmisoras y receptoras dentro del plato. (Garret, 2019)

- **Concéntrica:** Consiste en que la bobina transmisora se encuentra dispuesta circularmente a la receptora, proporcionando un gran campo de detección y profundidad con un defecto en terrenos altamente mineralizados ya que es susceptible a interferencias de minerales.
- **Mono:** Es una variación de la concéntrica con la bobina transmisora y receptora colocadas juntas o con una sola bobina actuando como Tx o Rx, teniendo las mismas características y defectos de la concéntrica.

- **Imaging:** Es una versión mejorada de la configuración concéntrica teniendo una bobina transmisora y dos receptoras, suministrándole con esta bobina receptora adicional al detector una información y distinción adicional del objeto.
- **Doble-D:** Es una configuración en la cual la bobina transmisora y receptora colocadas en forma de D, con un radio mínimo entre ellas, teniendo como características la cancelación de interferencias en suelos mineralizados, siendo una gran buscadora de joyas en suelos con muchos minerales.
- **Box:** Es una configuración en la cual la bobina transmisora se encuentra en una cierta distancia de la receptora, dando así la mejor opción en detección para una gran profundidad ignorando objetos pequeños.

## 2.7 SIM 808 módulo GSM, GPRS, GPS

El módulo sim 808 se basa en 2 módulos principales de GSM (Global System for Mobile Communications) y GPRS (General Packet Radio Service), que parten del uso de las 4 bandas de los canales de telefonía celular a las que están conectadas que son GSM 850, 900, 1800 y 1900 llegando a ser compatibles en el uso de esta tarjeta SIM (Subscriber Identity Module). También tiene la capacidad de ofrecer tecnología GPS (Global Positioning System) dando posiciones en longitud y latitud. (ElectronicLab, 2016)

Posee canales de transmisión y recepción de datos (Tx, Rx), los que se pueden conectar a tarjetas que sean compatibles con su software como se observa en la Tabla 2.1. Uno de ellos es Arduino que puede manejar de manera central a la tarjeta SIM mediante códigos AT que sirven como identificadores de funciones en la transmisión serial de datos y la validación de códigos para la inicialización de la sim.

Esta tarjeta sim tiene la capacidad de enviar y recibir llamadas y mensajes a números previamente programados con cualquier tipo de información que se requiera dar al

momento en que la tarjeta esté funcionando o se la haya programado para iniciar la comunicación. (SimCom, 2015)

Tabla 2.1 Características técnicas de la SIM808

<b>Sim 808</b>	<b>Especificaciones</b>
Voltaje de alimentación	3,5 v - 4,2 v
Bandas de funcionamiento	800/900/1800/1900 MHz
Conectividad GPRS	máx. 85,6 Kbps
Temperatura Ambiente	-40°C , 85°C
Peso	3,5 gr
Dimensiones	24*24*2,6 mm

Tabla de las especificaciones técnicas del módulo SIM808. Fuente: (SimCom, 2015)

## **2.8 Drone**

Se lo define como robot volador controlado por mando o una unidad remota, que contiene un software para controlarlo en los diferentes modos de vuelo. El uso del drone se remonta a los años treinta como base para los nuevos robots, su primera aplicación fue por parte de la milicia y, hoy en día, grandes empresas están creando sus propios prototipos para realizar entregas a domicilio con mayor facilidad. (González, 2017)

Al drone se lo puede clasificar mediante sus usos pues van variando en las tecnologías adjuntas según los requerimientos del usuario. Entre ellas se encuentran cámaras, módulo GPS, módulo Wi-Fi, diferentes sensores que se encuentran para ofrecer un mayor rendimiento y su capacidad de carga de peso. (González, 2017)

### **2.8.1 Parámetro del Drone DJI Phantom 3**

El Phantom 3 Standard de DJI como se muestra en la Figura 2.1 es un cuadricóptero con vuelo integrado, cuenta con una cámara incorporada de 2048×1080 píxeles HD, llega hasta una distancia de 3.5 kilómetros. Tiene incorporado un GPS para posicionarse en el exterior y una extensión de alcance de Wi-Fi de 5.8 GHz para una transmisión hacia un dispositivo móvil ya sea con el sistema operativo de Android o IOS. (DJI, 2019)

Su peso es de 1216 gramos incluida la cámara y su batería de lipo de 4480 mAh a un voltaje de 15.2, dando un tiempo de vuelo de aproximadamente 25 minutos. Su máxima velocidad de ascenso y descenso es de 5 m/s y 3 m/s respectivamente, su velocidad es de 16 m/s sin viento, la altitud máxima alcanzada sobre el nivel del mar es de 6000 metros. (DJI, 2019)

Figura 2.1 Drone DJI Phantom 3 standard



Figura del Drone DJI Phantom 3 standard Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

## 2.9 Oscilador Electrónico

El oscilador electrónico es un dispositivo que genera una onda de corriente alterna y la convierte en una frecuencia determinada mediante una corriente continua; además de completar ciclos los cuales desplaza electrones a través de un cable produciendo una oscilación tan rápida de electrones en un conductor. (Unicrom, 2015)

El oscilador realimentado como se muestra en la Figura 2.2, utiliza dos circuitos uno de realimentación donde se pierde la energía, pero mantiene su oscilación y el de amplificación para otorgar la energía perdida. (Unicrom, 2015)

Figura 2.2 Diagrama de bloques oscilador electrónico

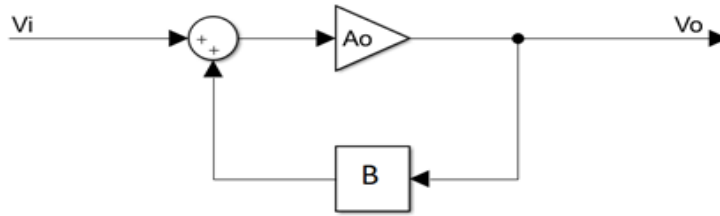


Diagrama de bloques del oscilador electrónico Fuente: (Unicrom, 2015)

- **Vi:** Entrada
- **Vo:** Salida
- **Ao:** Proceso de señal
- **B:** Red de realimentación

En uno de los osciladores se coloca un resonador cerámico el cual será como su corazón este es empleado cuando se desea precisión, se basa en el efecto piezoeléctrico que al ser sometido a presión mecánica se convierte en una energía eléctrica. (Tallerelectronica, 2016)

## 2.10 El Oscilador BFO

El detector de metales cuenta con dos osciladores electrónicos llamados Colppits. Los Osciladores Colppits LC generan señales sinusoidales de muy altas frecuencias sin que exista una entrada, sus rangos de frecuencias se encuentran entre 1MHz y 500MHz, además de ser un oscilador muy estable. (Azamar, 2017)

Figura 2.3 Diagrama de bloques oscilador Colppits

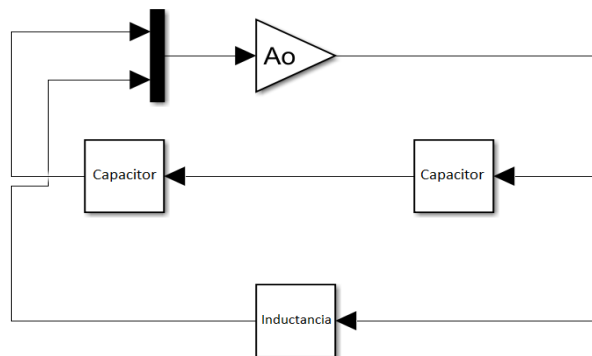


Diagrama de bloques del Oscilador Colppits Fuente: (Azamar, 2017)

## 2.11 El Oscilador local y oscilador de exploración

El Oscilador local como se muestra en la Figura 2.4 es el resonador cerámico que se utiliza en el circuito del detector de metales, este trabaja a una frecuencia de 455 KHz.

Figura 2.4 Diagrama del oscilador local

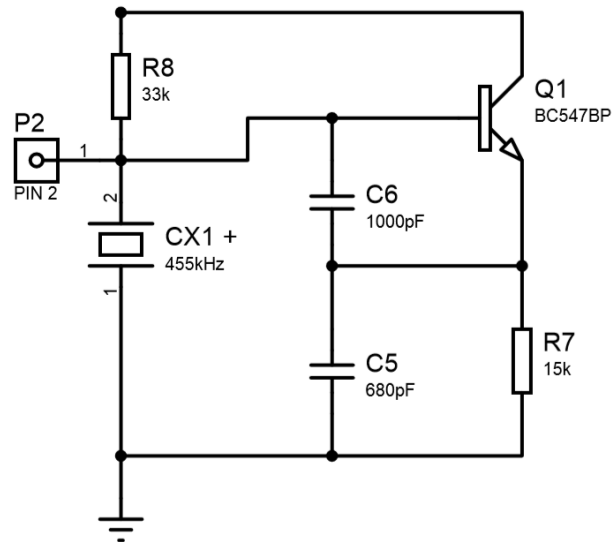


Diagrama en Proteus 8 profesional del oscilador local Fuente: (tecnotron, 2016)

El oscilador de exploración como se muestra en la Figura 2.5 esta manejado por la cabeza detectora del sistema, este trabaja entre un rango de frecuencias de 455 kHz a 564 KHz.



Figura 2.5 Diagrama del oscilador de exploración

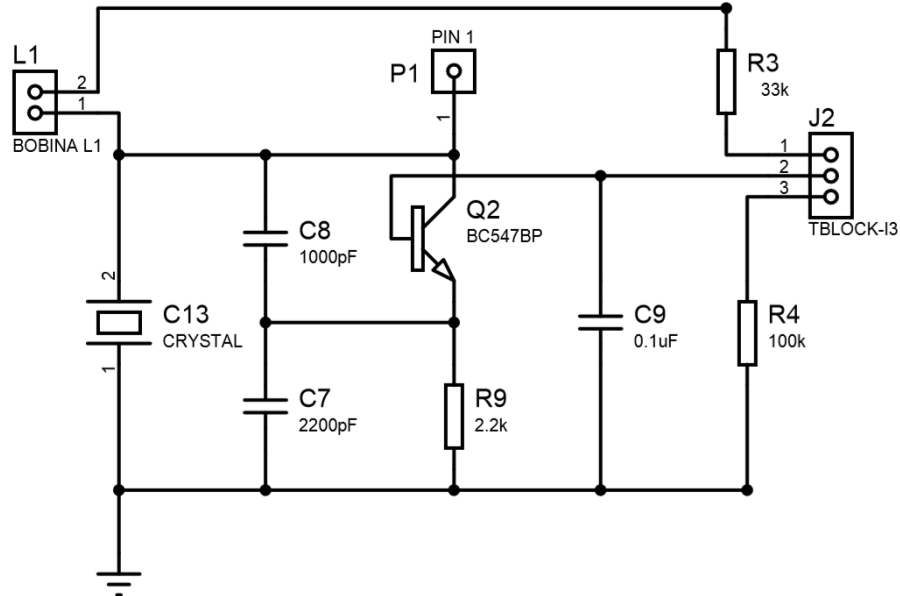


Diagrama en Proteus 8 profesional del Oscilador de Exploración (tecnotron, 2016) Fuente: (tecnotron, 2016)

## 2.12 Mecanismo de conductividad de los metales

La conductividad eléctrica es controlada por la movilidad de los electrones ya que son los únicos portadores de carga. (Materiales, 2016)

Tabla 2.2 Conductividad eléctrica de varios metales

Metales	Conductividad
Plata	0,6305
Cobre	0,5958
Oro	0,4464
Aluminio	0,3767
Cobalto	0,1693
Hierro	0,103
Acero	0,1
Estaño	0,0839
Plomo	0,0484

Tabla de Conductividad eléctrica de varios materiales Fuente: Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales (Materiales, 2016)

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL DETECTOR DE METALES

El presente capítulo describe el diseño de software y hardware del detector de metales conductores, al igual que sus indicadores y la implementación en el drone. Se va a especificar la ubicación de cada elemento de los circuitos utilizados para el proyecto.

#### 3.1 Arquitectura del sistema detector de metales

En la Figura 3.1 se presenta el diagrama de bloques del sistema detector de metales, se especifica cada una de sus etapas en las siguientes secciones del capítulo.

Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema detector y discriminador de metales

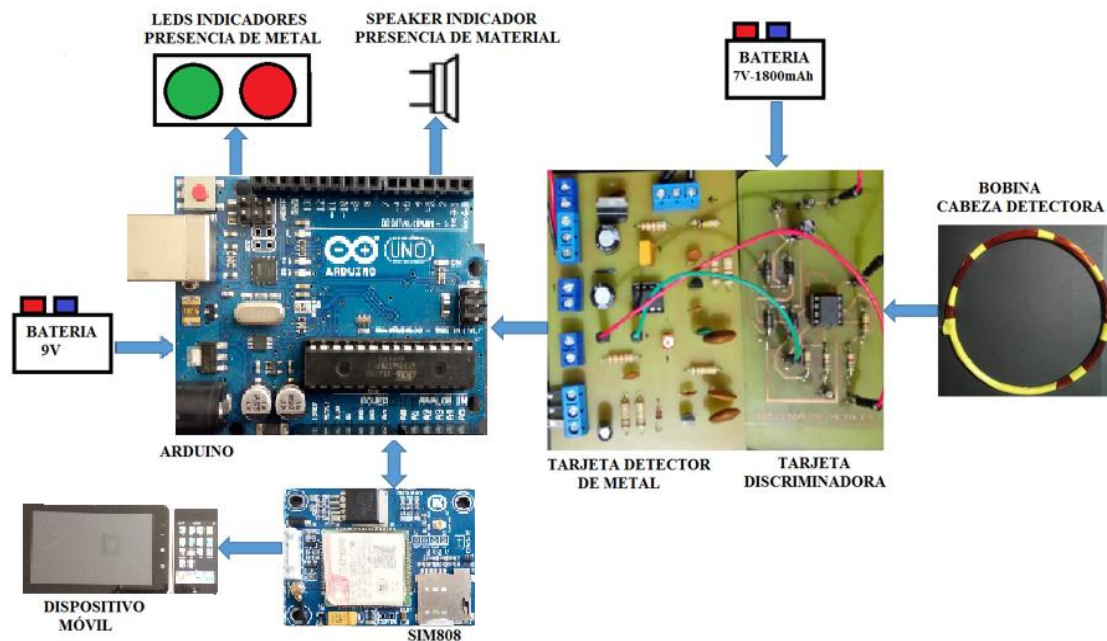


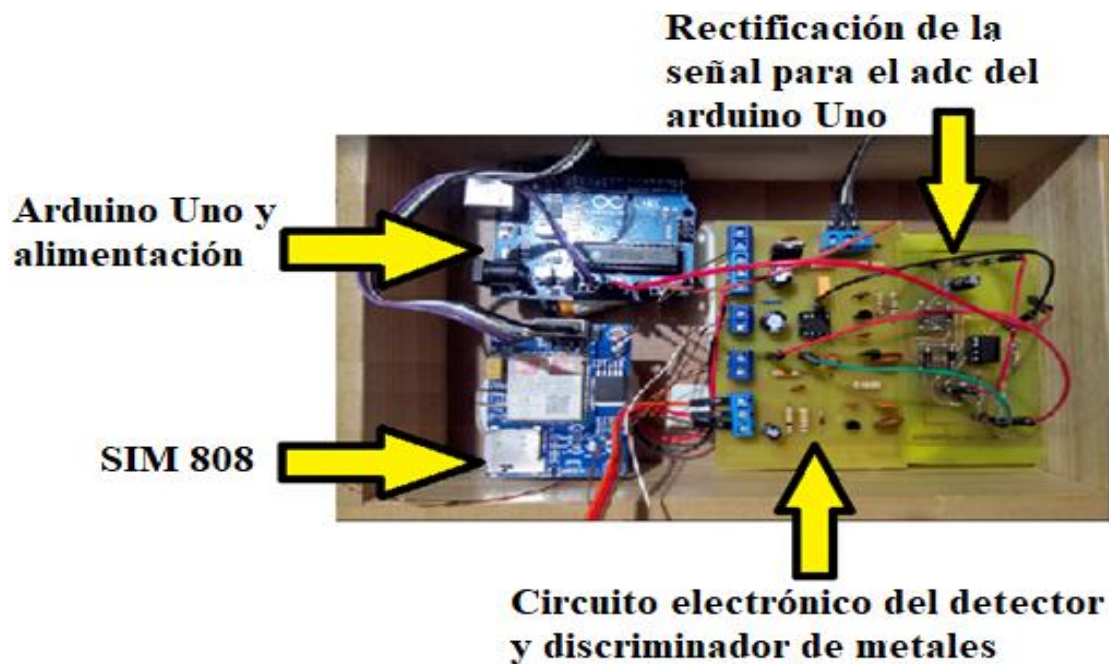
Diagrama de bloques del sistema detector y discriminador de metales Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

El sistema tiene dos tarjetas principales la de detección y la discriminadora, las cuales se conectan a un arduino que compara las señales obtenidas mediante los dos osciladores el fijo y el de la cabeza detectora, una vez comparadas las diferentes frecuencias se envía el resultado en un mensaje de texto hacia un dispositivo móvil de la detección y

discriminación de los diferentes metales mediante la tarjeta SIM808 y a los indicadores leds y speaker.

En la Figura 3.2 se observa la ubicación final de los elementos de control en el detector y discriminador de metales que consta de 1 módulo Sim 808, 1 Arduino Uno, 1 circuito electrónico del detector y discriminador de metales, 1 circuito de rectificación de la señal del detector y discriminador de metales, 1 batería 9 V, 1 batería Lipo de 7 V.

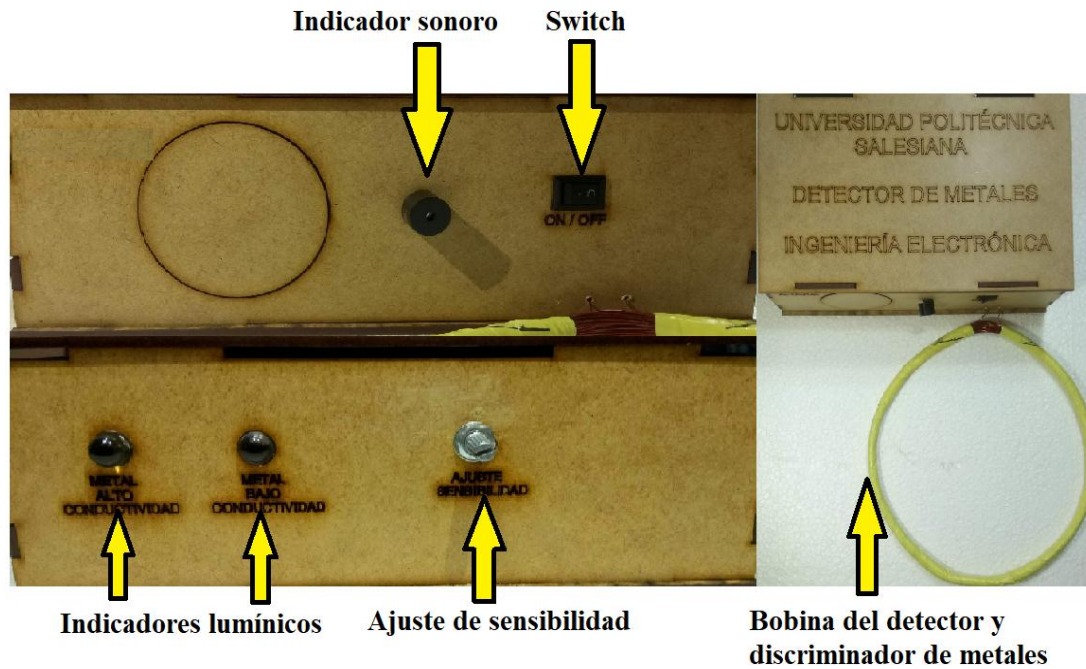
Figura 3.2 Ubicación de los elementos indicadores y de control



Ubicación de los componentes electrónicos y de control Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

En la Figura 3.3 se muestra 2 indicadores lumínicos, 1 indicador sonoro, 1 switch on/off, 1 bobina del detector y discriminador de metales, 1 regulador del ajuste de sensibilidad, estos elementos se encuentran ubicados en la caja final detectora que va a ser implementada en el drone.

Figura 3.3 Ubicación de los elementos de control



Ubicación de los elementos indicadores y de control Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

### 3.2 Implementación del detector de metales en el drone

Se utiliza el drone DJI Phantom 3 ya que cuenta con estabilizadores los cuales al momento de manejarlo a través del dispositivo móvil o solo con el control remoto se lo deja en una posición fija y este llega a mantenerse estable por sí solo, pero la principal ventaja es que este drone cuenta con una batería que proporciona la energía suficiente para levantar gracias a sus 4 motores de 800kv un peso de 800 gramos sin contar con su cámara, el peso que se necesita transportar es de 720 gramos correspondiente al detector de metales.

En la Figura 3.4 se observa la implementación en el drone. Se coloca el detector en el centro del mismo para tener una mejor estabilidad, de igual manera la cabeza detectora se ubica en un costado para que no intervenga ninguna señal de frecuencia de los diferentes materiales del proyecto.

Figura 3.4 Implementación del detector de metales en el drone



Implementación del detector de metales en el drone DJI Phantom 3 Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

### 3.3 Especificaciones del detector de metales

En la Figura 3.5, se presenta un diagrama de bloques de cada etapa del detector de metales BFO, cada una de las etapas serán explicadas a detalle con las características de los elementos utilizados.

Figura 3.5 Diagrama de bloques del detector de metales BFO

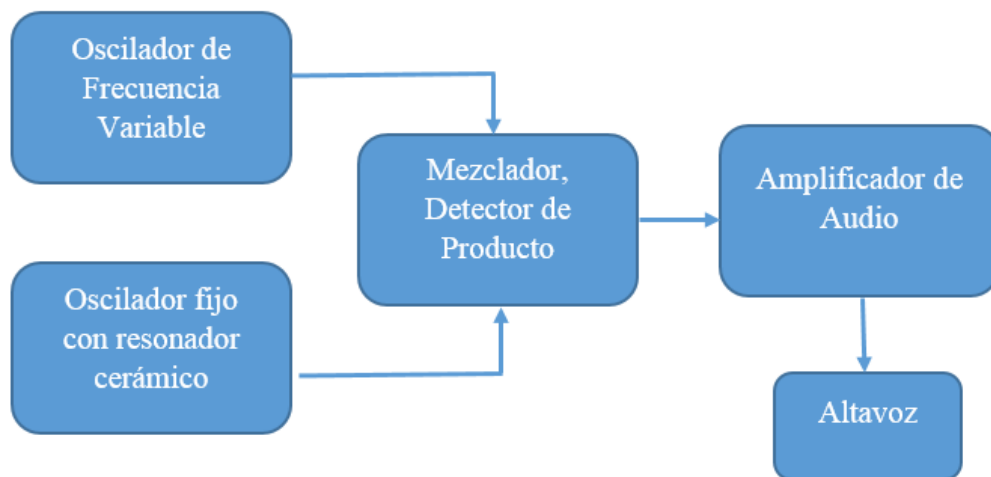


Diagrama de bloques del detector de metales BFO Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

El detector de metales que se realiza es de tipo BFO, el cual tiene como base el funcionamiento de dos osciladores el local y el de exploración.

### **3.3.1 Oscilador local y oscilador de exploración**

Se utiliza una señal de referencia que se encuentra dirigido por un resonador cerámico que es el oscilador local, el circuito se lo puede observar en la sección 2.11 perteneciente a la Figura 2.4, este trabaja a una frecuencia de 455 KHz, mezclando esta señal con otro oscilador de frecuencia variable llamado de exploración, dando como resultado final un ajuste de sensibilidad muy estable para su trabajo.

El otro oscilador es uno de frecuencia variable que se llamará oscilador de exploración, el circuito se lo puede observar en la sección 2.11 perteneciente a la Figura 2.5, este será manejado por la bobina o llamada cabeza detectora, al colocarle un objeto cercano a la bobina el oscilador trabajará a una frecuencia muy cercana entre los 455 kHz y 564 KHz, esta frecuencia se la puede controlar mediante una resistencia variable R5 colocada en el circuito, esta resistencia se encuentra en la Figura 3.7.

Los cálculos matemáticos para entender el funcionamiento del oscilador variable se encuentran en la Tabla 3.1 y Tabla 3.2, en la que su frecuencia original es llamada fundamental. Al ingresar múltiples frecuencias después de la fundamental estas se llaman armónicos y subarmónicos:

- Los armónicos serían ( $1\text{KHz} * X$ ), siendo X el número del armónico, se observa en la Tabla 3.1. (Palacios, 2015)
- Los subarmónicos ( $1\text{KHz} / Y$ ), siendo Y el número del subarmónicos, se observa en la Tabla 3.2. (Palacios, 2015)

Tabla 3.1 Cálculo de armónicos del detector

<b>Número de Armónico “X”</b>	<b>455*X</b>	<b>Armónico</b>
El segundo armónico	455*2	910 KHz
El tercer armónico	455*3	1365 KHz
El cuarto armónico	455*4	1820 KHz
El quinto armónico	455*5	2275 KHz

Tabla del cálculo de armónicos del detector de metales Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Tabla 3.2 Cálculo de subarmónicos del detector

<b>Número de Subarmónico “Y”</b>	<b>455/Y</b>	<b>Subarmónico</b>
El segundo subarmónico	455/2	227.5 KHz
El tercer subarmónico	455/3	151.66 KHz
El cuarto subarmónico	455/4	134.75 KHz
El quinto subarmónico	455/5	91 KHz

Tabla del cálculo de subarmónicos del detector de metales Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Dentro del detector al existir múltiples armónicos producidos por la fundamental se producirán miles de diferentes frecuencias en cada uno de los osciladores, pero irán perdiendo progresivamente energía con referencia a la fundamental como se observa en la Tabla 3.1 donde si ingresaría el segundo armónico se perderá energía ya que es la frecuencia más baja del oscilador y en la Tabla 3.2 donde va disminuyendo cada vez más dependiendo del subarmónico.

Por lo cual se utilizó las fundamentales o los primeros armónicos para tener la energía máxima de frecuencia y evitar colocarle al circuito más etapas amplificadoras.

Estos dos osciladores trabajan en frecuencias muy elevadas por lo que no pueden ser escuchadas, por esto se ingresa la frecuencia local y la de exploración al detector de

metales, el cual sumará o restará ambos valores realizando la operación de suma algebraica, tomando el audio que no sea audible y derivando a masa la radiofrecuencia.

Los cálculos matemáticos que ayudan a entender cómo trabaja el detector para que sea audible se encuentra en la Tabla 3.3. Al detector ingresan dos frecuencias la local que es fija a 455 KHz, y la de exploración que se ajusta su sensibilidad para que trabaje a 456 KHz, estas dos señales realizan la suma algebraica dando como resultado los siguientes valores:

Tabla 3.3 Suma algebraica de las frecuencias locales y exploratorias.

Osciladores	Suma Algebraica
Del oscilador local	455 KHz + 0 KHz
Del oscilador de exploración	456 KHz + 0 KHz
Suma de frecuencias del oscilador de exploración menos la del local.	456 KHz + 455 KHz = 911 KHz
Resta de frecuencias del oscilador de exploración menos la del local.	456 KHz - 455 KHz = 1 KHz

Tabla de la suma algebraica de las frecuencias locales y exploratorias Elaborado por: Crithian Aguirre, Christian Guillén

El circuito realiza la suma algebraica para tomar solamente valores que se encuentren entre los rangos de 20 Hz y 20.000 Hz, que son valores de frecuencias audibles para el ser humano (Pérez, 2016).

El resultado adquirido por el circuito es de 1KHz, que ingresa en este rango, este se da por la resta de frecuencias del oscilador de exploración menos la del local como se observa en la Tabla 3.3.

En la Figura 3.6, se presenta el diagrama de bloques de cada etapa del detector de metales BFO, en donde se observa el ingreso de diferentes actuadores a los osciladores para que trabajen a las frecuencias deseadas, estas señales se mezclan obteniendo del



circuito solo la fundamental para enviarle a una salida de audio que será amplificada hacia un altavoz.

Figura 3.6 Diagrama de bloques del detector de metales BFO

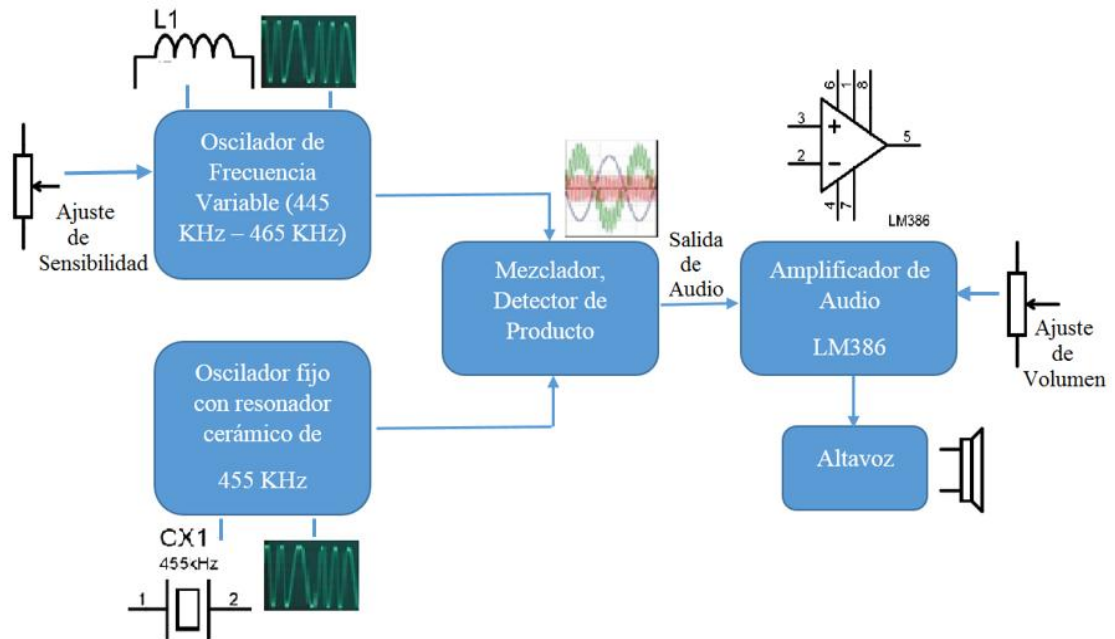


Diagrama de bloques del detector de metales BFO Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

### 3.4 Circuito del detector de metales BFO

A continuación, en la Figura 3.7 se presenta el diseño del circuito detector de metales BFO, con el que se explicará cada una de sus etapas como son sus dos osciladores, el de frecuencia variable y el fijo, al igual que su etapa de mezcla que es la detectora del producto para finalmente ser enviada a un amplificador de audio que emitirá la señal audible a un altavoz.

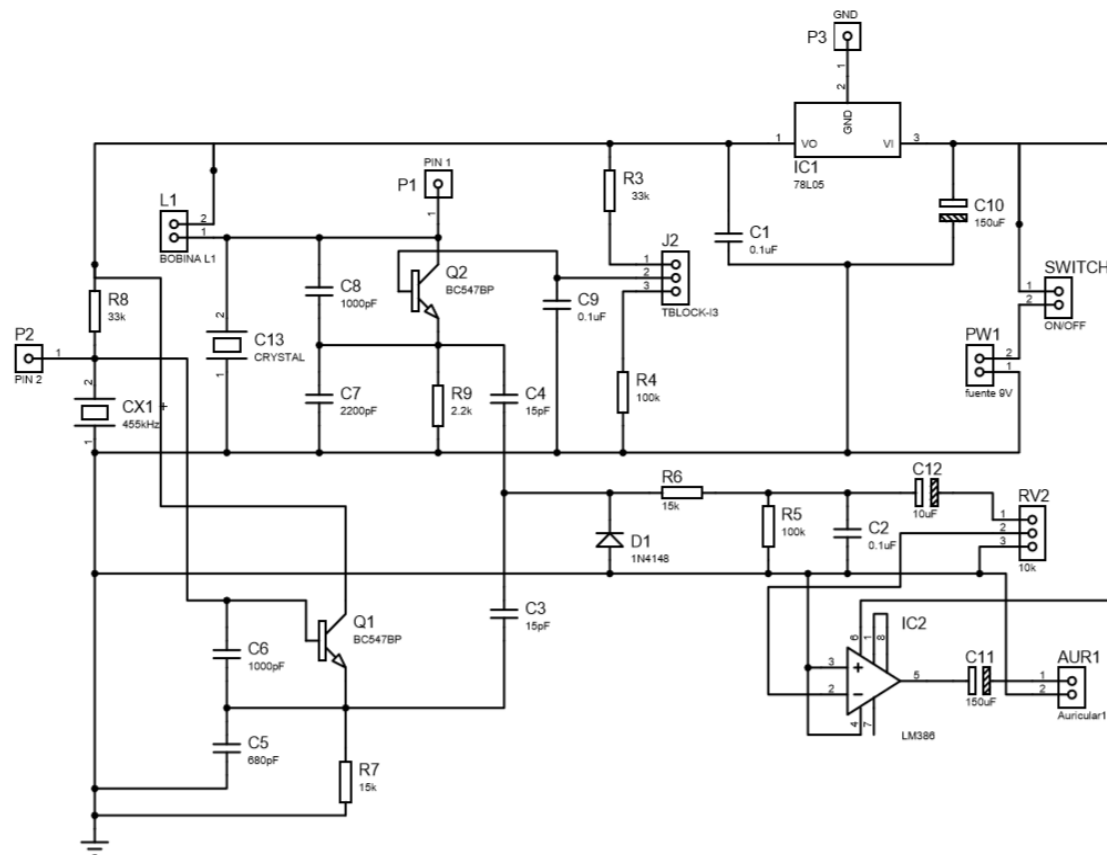
Este circuito se encuentra estabilizado con un circuito integrado 78L05 (IC1) el cual baja y regula la tensión a 5 voltios ya que está siendo alimentado por una batería de 9V, se coloca este integrado entre los osciladores que reciben un voltaje constante para su estabilidad, con esto se consigue aumentar el rango de tensión de reserva a 4 voltios.

En la Figura 3.7 se observa el elemento Q1 que es un transistor BC547B junto a sus elementos coligados conforman el oscilador local, siendo este manejado por el resonador cerámico CX1 de 455 KHz.

El elemento Q2 que es un transistor BC547B junto a sus elementos vinculados conforman el oscilador de exploración siendo la frecuencia de oscilación manejada por la bobina L1 que se encuentra en la cabeza detectora.

Además, para sintonizar el oscilador en la frecuencia correcta que se desea que trabaje definitivamente cuenta con un condensador ajustable C13 y con una resistencia variable R1 que sirve para ajustar a la sensibilidad que se desee que trabaje, esta resistencia sobresale en el detector para manipularla desde afuera.

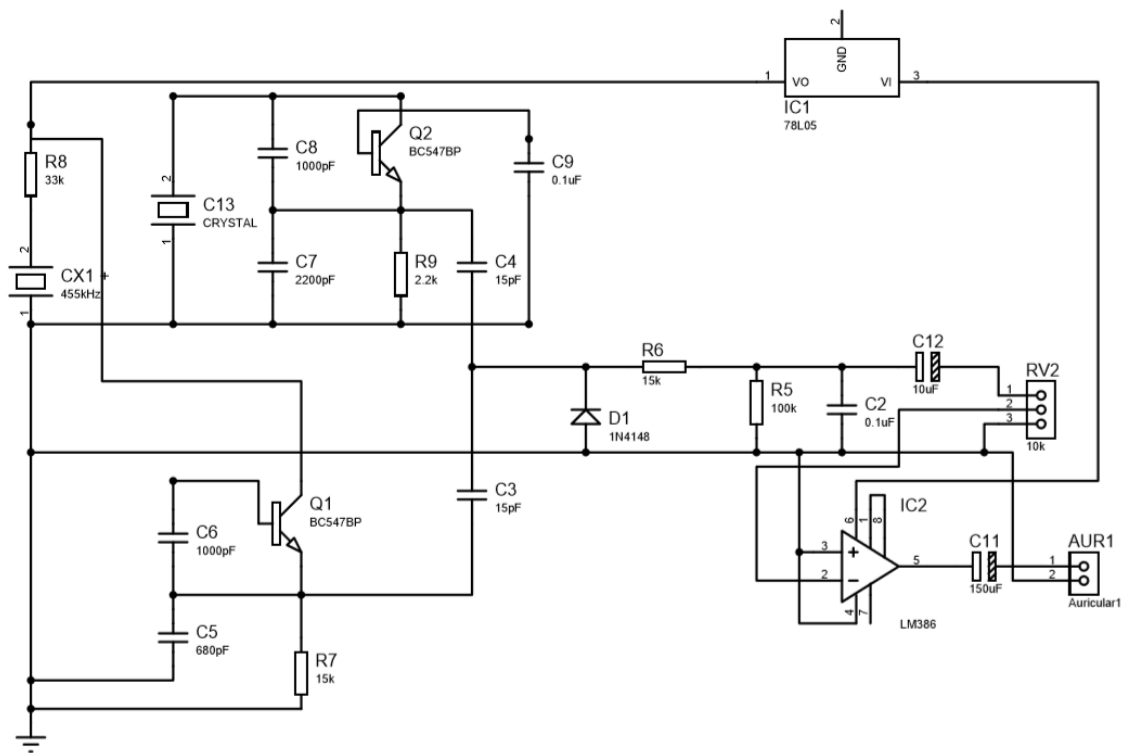
Figura 3.7 Circuito de implementación detector de metales BFO



Circuito de implementación en Proteus 8 profesional del detector de metales BFO Elaborado por: Cristian Aguirre, Christian Guillén

En la Figura 3.8 que se puede observar que en los condensadores C3 y C4 ambos de 15 pico faradios llegan las señales de los osciladores, del local y del exploratorio respectivamente hacia el detector de metal, combinado con un Diodo D1 (1N4148) que desdobra la señal y se queda solamente con una de las bandas de la frecuencia que es la fundamental o su primer armónico. Con esta banda obtenida se implementa un filtro que se encarga de derivar la radiofrecuencia que no es audible, para esto se coloca las resistencias R5 de 100 kilo ohms y R6 de 15 kilo ohms, además de un condensador C2 de 0.1 micro faradio.

Figura 3.8 Etapa de acoplamiento y amplificación de señal



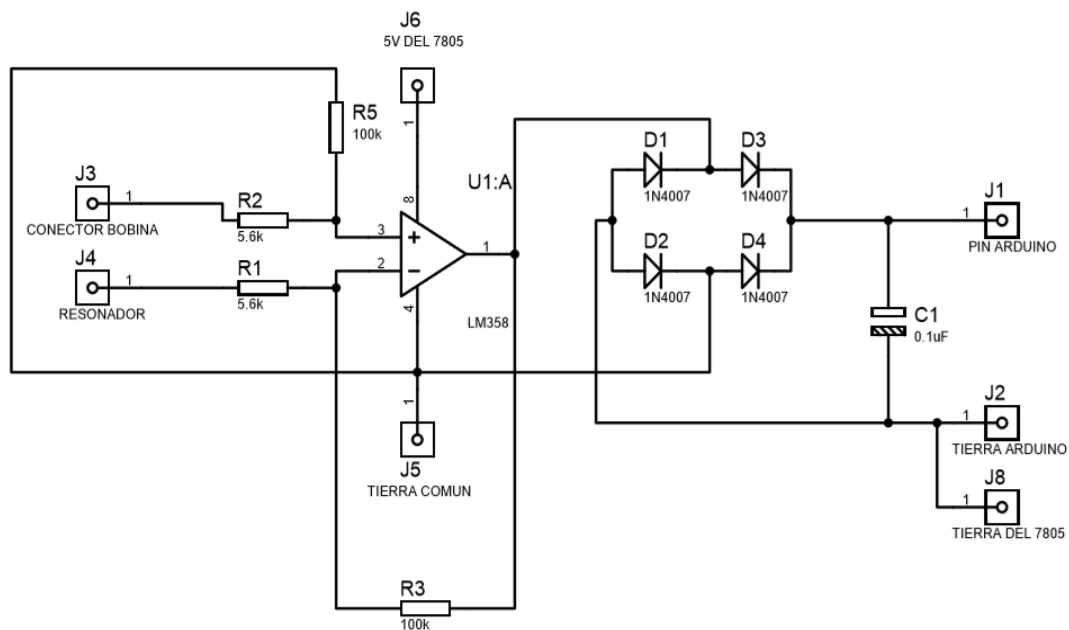
Circuito de implementación en Proteus 8 profesional de acoplamiento y amplificación de señal Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Finalmente, el condensador C12 de 10 micro faradios que es el que acopla la señal de 1 kilo hertz que ya se encuentra en el rango audible y la resistencia variable R2 que se localiza en el exterior del detector junto con el amplificador de audio IC2

correspondiente al LM386, son los encargados de la etapa final para obtener una suficiente señal audible para el ser humano cuando el detector encuentre algún metal.

En la Figura 3.9 se encuentra el circuito de comunicación con el arduino uno, en donde se desarrollará la programación de discriminación de los metales.

Figura 3.9 Circuito comunicación Arduino



Circuito de implementación en Proteus 8 profesional de la comunicación con el arduino Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

### 3.5 Programación para la discriminación de los metales conductores

Se realiza un diagrama de flujo que explicará el proceso de la secuencia de su programación, este se lo puede observar en la Figura 3.10, o de una manera más visible en el Anexo1. La programación es desarrollada en el software Arduino donde se encuentra con su debida explicación en el Anexo1, además de ser implementada en un dispositivo Arduino uno.

Para el envío del mensaje hacia un dispositivo móvil que indica que tipo de metal encontró, el detector utiliza el módulo GSM SIM 808, su programación con la respectiva

explicación se la encuentra en el Anexo1, además de sus parámetros se detallan en la sección 2.7.

Figura 3.10 Diagrama de flujo de la programación del discriminador de metales

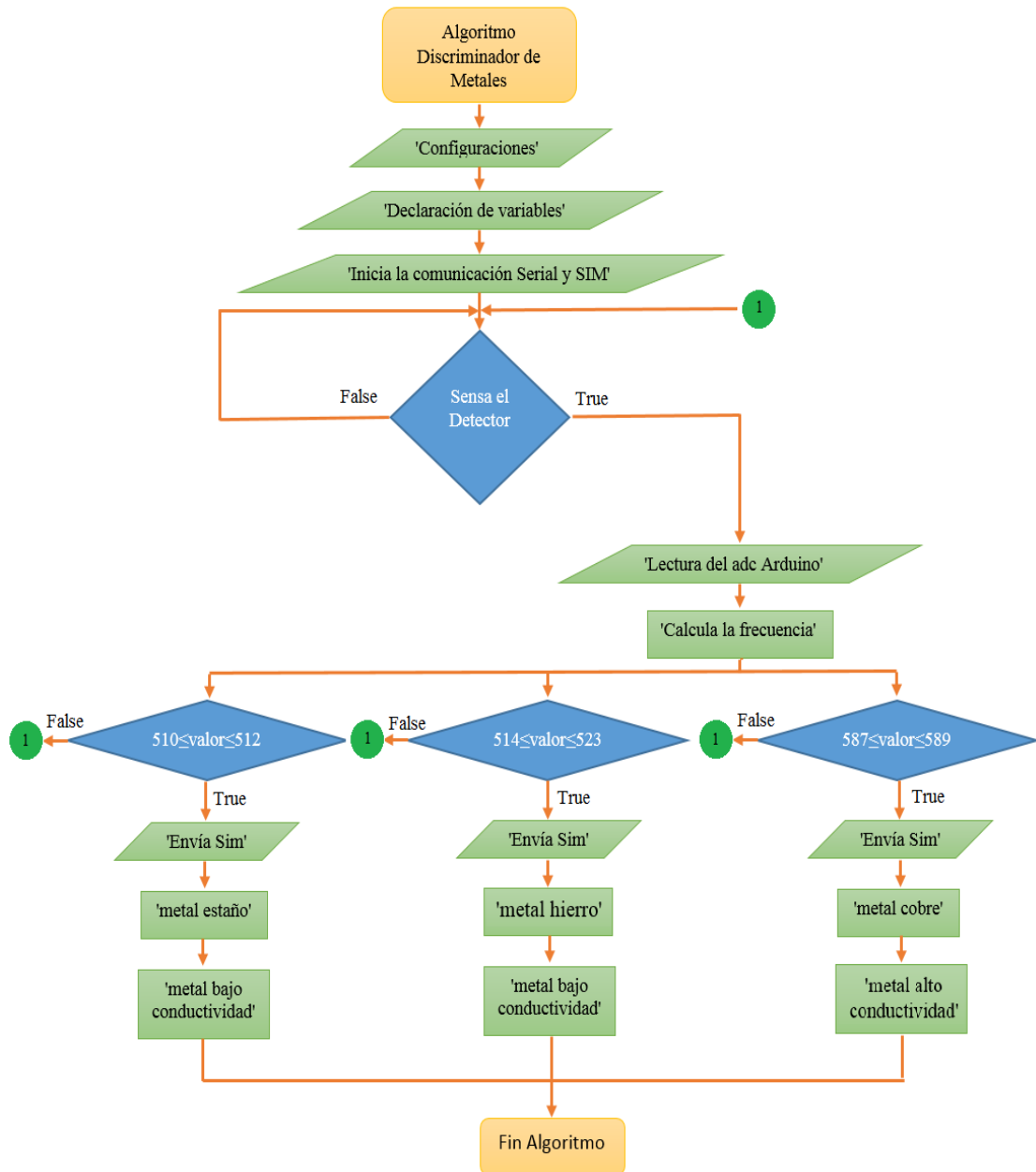


Figura del diagrama de flujo de la programación del discriminador de metales Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

### 3.6 Parámetros de la bobina detectora

Para la elaboración de las bobinas se toma en cuenta el tamaño en el que la detección y discriminación del metal sea la óptima, siendo el tamaño entre 6" a 11" para objetos medianos, esto se lo verifica en la sección 2.6 y en la Figura 3.11.

Para la construcción de la bobina se utiliza la configuración transformador tipo toroidal o bobina circular de un diámetro de 6" ya que si la bobina es de un diámetro mayor se obtendría un gran campo logrando una mayor profundidad en su alcance, pero su discriminación no sería la exacta, es decir a mayor diámetro de la bobina mayor alcance y a menor diámetro mayor porcentaje de discriminación del metal. Se tiene en cuenta los siguientes parámetros para su elaboración con las pruebas que se realizan como se muestra en la Tabla 3.4:

Tabla 3.4 Parámetros de la Bobina Detectora

<b>Parámetros</b>	<b>Bobina Detectora</b>
Frecuencia (K Hz)	445 KHz – 465 KHz
Número de vueltas	60
Calibre	23 AWG
Diámetro (mm) de la bobina	160 mm

Tabla de parámetros de la bobina detectora con la configuración B elegida para el proyecto Elaborado por:  
Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Figura 3.11 Elaboración de la Bobina Detectora



Figura de la elaboración de la bobina detectora con la configuración B Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

### 3.7 Software de implementación

Los tipos de software ayudan mediante sistemas de ingeniería a acelerarlo en la medición y control mediante la programación y su integración del hardware. Las funciones que se están utilizando se encuentran en la Tabla 3.5:

Tabla 3.5 Software de implementación

Software	Función
Proteus 8 Profesional	Diseño del circuito del Detector de Metales
Arduino	Programación del Arduino Uno y SIM808

Tabla del software implementado en el proyecto Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

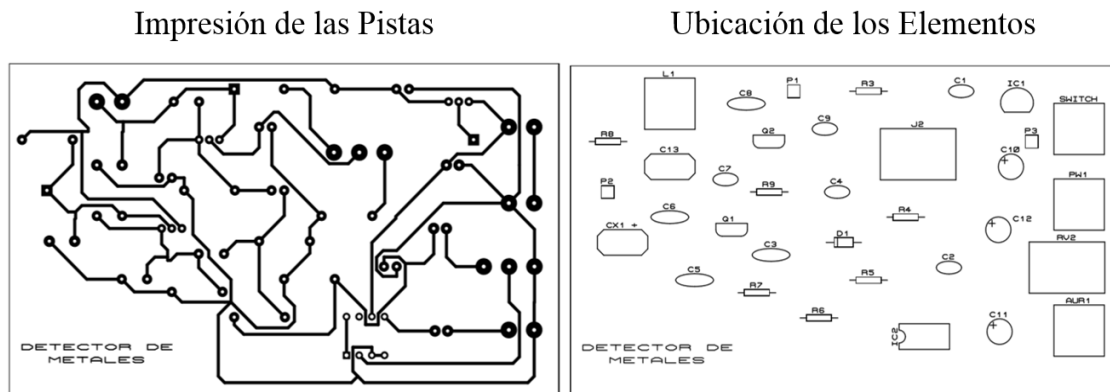
### 3.8 Fabricación en placas PBC del circuito detector de metales

Se utiliza el software Proteus 8 Profesional para la creación de la placa PBC principal y de comunicación, a continuación, se encuentra su fabricación.

### 3.8.1 Tarjeta principal del circuito detector de metales

En la Figura 3.12 en su lado izquierdo se observa la impresión de las pistas del circuito principal del detector de metales, de igual manera a su lado derecho se encuentra la impresión de donde se ubican las conexiones externas de los componentes implementados.

Figura 3.12 Tarjeta principal del circuito detector de metales



Tarjeta principal del circuito detector de metales Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

En la Figura 3.13 se puede observar la placa ya desarrollada.

Figura 3.13 Implementación circuito principal

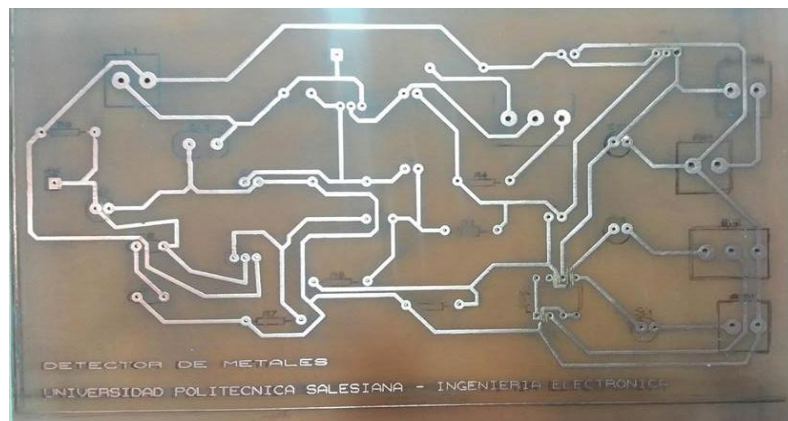


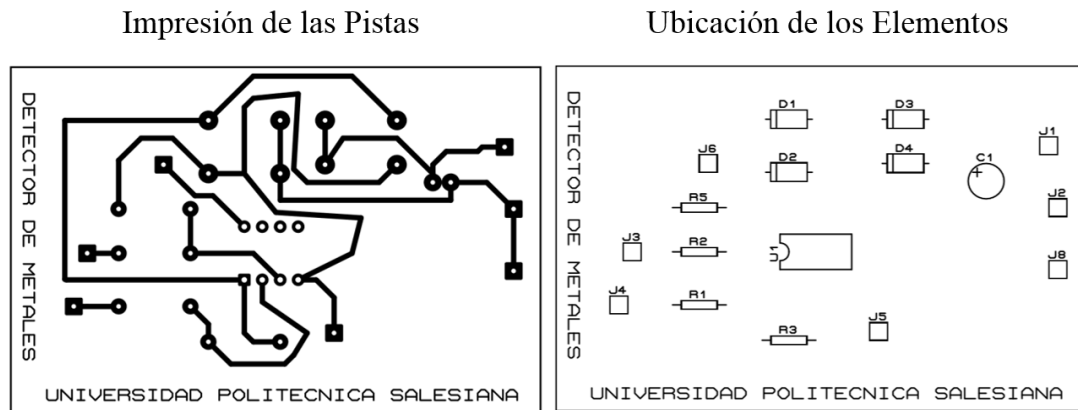
Figura de la implementación del circuito principal Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén



### 3.8.2 Segunda tarjeta del circuito detector de metales

En la Figura 3.14 en el lado izquierdo se observa la impresión de las pistas del circuito donde se ingresa la comunicación con el Arduino para la discriminación de metales, y en su lado derecho se encuentra la impresión de donde se ubican las conexiones externas de los componentes implementados.

Figura 3.14 Segunda tarjeta del circuito detector de metales



Figuras de la segunda tarjeta del circuito detector de metales Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

En la Figura 3.15 se puede observar la placa ya desarrollada.

Figura 3.15 Implementación de la segunda tarjeta

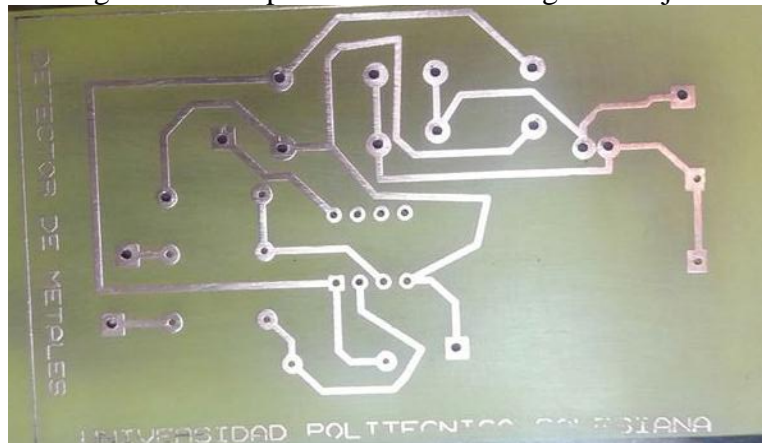


Figura de la implementación de la segunda tarjeta. Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS DEL SISTEMA EN LA DETECCIÓN DE METALES

En el presente capítulo se muestra el detector de metales conductivos sometido a pruebas con 3 tipos diferentes de metales: cobre, estaño y hierro donde se verifica la selección de la bobina, el tamaño y su configuración, así como la comunicación que existe entre el detector de metales y los usuarios mediante un dispositivo móvil.

#### 4.1 Pruebas con las bobinas para el Detector de Metales

De acuerdo al circuito electrónico del detector de metales se realiza pruebas con 3 tipos diferentes de bobinas para la detección y discriminación de metales que de acuerdo a la configuración de la bobina se obtiene resultados para su selección en distancias mayores o iguales a 0 cm y menores o iguales a 3 cm, mayores a 3 cm y menores o iguales a 5 cm. Las pruebas a los metales se realizan cuando estos se encuentran de forma perpendicular a la bobina debido a que se obtienen mejores resultados en la detección y discriminación.

Las configuraciones de las bobinas son las siguientes como se muestra en la Figura 4.1

- **Configuración A:** Bobina DD.
- **Configuración B:** Mono Bobina.
- **Configuración C:** Bobina Concéntrica.

Figura 4.1 Tipos de bobinas para el detector de metales



Configuraciones de las bobinas para prueba en el Detector de metales conductivos Elaborado por:  
Cristhian Aguirre, Christian Guillén

La configuración A, muestra dos bobinas de diferente diámetro interconectadas, la más grande con un diámetro de 16 cm trabajando como bobina transmisora y la más pequeña con un diámetro de 12 cm trabajando como bobina receptora. El trabajo de ambas bobinas aumenta la zona detección, pero genera poca sensibilidad por la cercanía que existe entre ambas bobinas. En la Tabla 4.1 y Figura 4.2 se muestra las pruebas de detección que se realizaron con los 3 metales en un rango de 0 cm y 3 cm con la configuración A de la bobina.

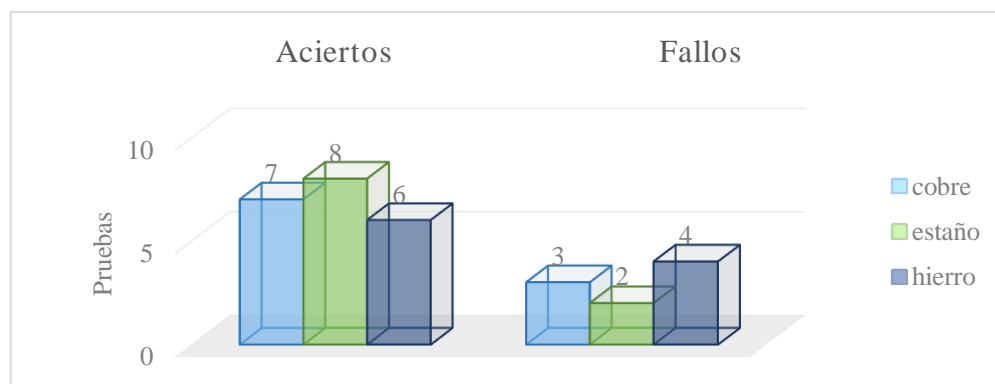
Tabla 4.1 Pruebas de detección con la configuración A hasta 3 cm

No. Prueba	Detección del Metal																			
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9		No. 10	
<b>Metal</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>cobre</b>		x		x	x		x		x		x			x	x		x		x	
<b>estaño</b>	x		x		x			x		x	x		x		x		x		x	
<b>hierro</b>		x		x		x	x		x		x		x		x		x			x
<b>Configuración A</b>				<b>cobre</b>				<b>estaño</b>				<b>hierro</b>								
<b>No. Aciertos</b>				7				8				6								
<b>No. Fallos</b>				3				2				4								
<b>P. Aprobación (%)</b>				70%				80%				60%								
<b>Nivel de Aprobación</b>				<b>APRUEBA</b>				<b>APRUEBA</b>				<b>NO APRUEBA</b>								

Tabla de obtención de datos de detección mediante pruebas a los 3 metales desde 0 cm hasta 3 cm

Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Figura 4.2 Gráfica de pruebas de detección con la configuración A hasta 3 cm



Gráfica de aciertos y fallos a los 3 metales desde 0 cm hasta 3 cm Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

En la Tabla 4.2 y Figura 4.3 se muestra las pruebas de discriminación que se realizaron a los 3 metales a una distancia entre 0 cm y 3 cm con la configuración A de la bobina.

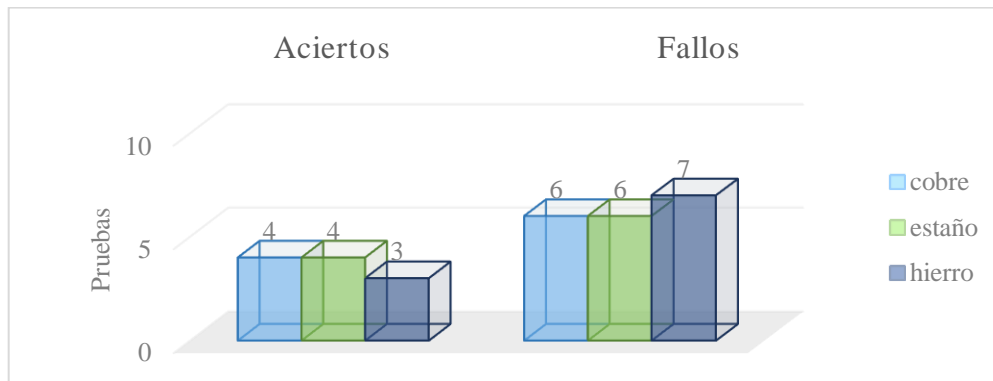
Tabla 4.2 Pruebas de discriminación con la configuración A hasta 3 cm

No. Prueba	Discriminación del Metal																			
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9		No. 10	
Metal	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
cobre		x	x			x	x			x		x	x			x	x			x
estaño	x		x		x			x		x	x			x		x		x		x
hierro		x		x		x		x		x		x	x		x			x	x	
<b>Configuración A</b>					<b>cobre</b>					<b>estaño</b>					<b>hierro</b>					
<b>No. Aciertos</b>					4					4					3					
<b>No. Fallos</b>					6					6					7					
<b>P. Aprobación (%)</b>					40%					40%					30%					
<b>Nivel de Aprobación</b>					<b>NO APRUEBA</b>					<b>NO APRUEBA</b>					<b>NO APRUEBA</b>					

Tabla de obtención de datos de discriminación mediante pruebas a los 3 metales desde 0 cm hasta 3 cm

Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Figura 4.3 Gráfica de pruebas de discriminación con la configuración A hasta 3 cm



Gráfica de aciertos y fallos a los 3 metales desde 0 cm hasta 3 cm Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

En la Tabla 4.3 y Figura 4.4 se muestra las pruebas de detección que se realizaron a los 3 metales a una distancia entre 3 cm y 5 cm con la configuración A de la bobina.

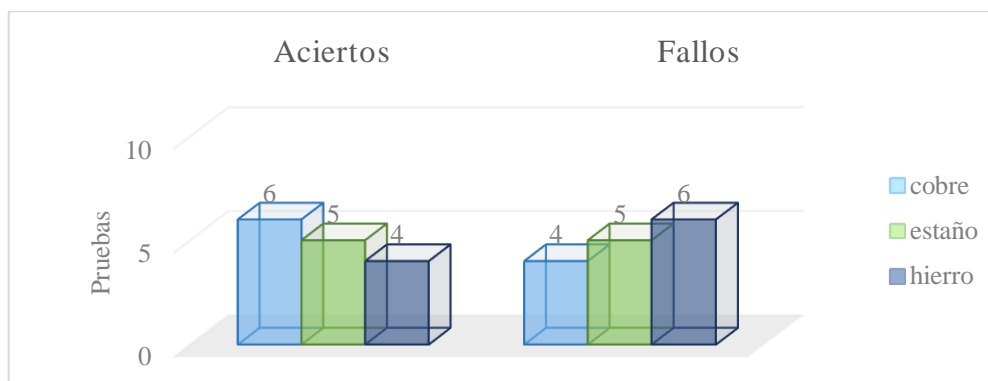
Tabla 4.3 Pruebas de detección con la configuración A hasta 5 cm

No. Prueba	Detección del Metal																				
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9		No. 10		
<b>Metal</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
<b>cobre</b>		x		x	x		x		x		x			x	x			x	x		
<b>estaño</b>		x	x		x		x			x		x	x		x			x		x	
<b>hierro</b>	x			x		x	x			x		x		x			x	x		x	
<b>Configuración A</b>					<b>cobre</b>					<b>estaño</b>					<b>hierro</b>						
<b>No. Aciertos</b>					6					5					4						
<b>No. Fallos</b>					4					5					6						
<b>P. Aprobación (%)</b>					60%					50%					40%						
<b>Nivel de Aprobación</b>					<b>NO APRUEBA</b>					<b>NO APRUEBA</b>					<b>NO APRUEBA</b>						

Tabla de obtención de datos de detección mediante pruebas a los 3 metales desde 3 cm hasta 5 cm

Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Figura 4.4 Gráfica de pruebas de detección con la configuración A hasta 5 cm



Gráfica de aciertos y fallos a los 3 metales desde 3 cm hasta 5 cm Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

En la Tabla 4.4 y Figura 4.5 se muestra las pruebas de discriminación que se realizaron a los 3 metales a una distancia entre 3 cm y 5 cm con la configuración A de la bobina.

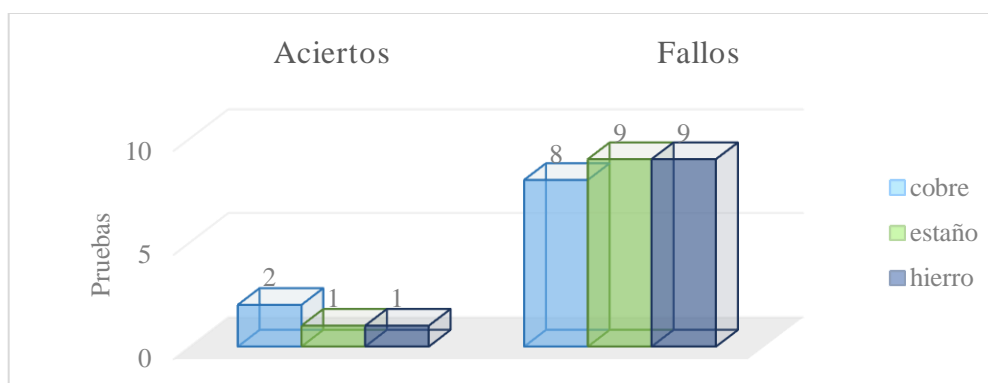
Tabla 4.4 Pruebas de discriminación con la configuración A hasta 5 cm

No. Prueba	Discriminación del Metal																			
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9		No. 10	
<b>Metal</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>cobre</b>		x		x		x		x	x			x		x	x			x		x
<b>estaño</b>		x		x		x		x		x	x			x		x		x		x
<b>hierro</b>	x			x		x		x		x		x		x		x		x		x
<b>Configuración A</b>					<b>cobre</b>					<b>estaño</b>					<b>hierro</b>					
<b>No. Aciertos</b>					2					1					1					
<b>No. Fallos</b>					8					9					9					
<b>P. Aprobación (%)</b>					20%					10%					10%					
<b>Nivel de Aprobación</b>					<b>NO APRUEBA</b>					<b>NO APRUEBA</b>					<b>NO APRUEBA</b>					

Tabla de obtención de datos de discriminación mediante pruebas a los 3 metales desde 3 cm hasta 5 cm

Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Figura 4.5 Gráfica de pruebas de discriminación con la configuración A hasta 5 cm



Gráfica de aciertos y fallos a los 3 metales desde 3 cm hasta 5 cm Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

La configuración B, muestra una sola bobina con un diámetro de 16 cm que trabaja como transmisora y receptora en la cual la detección disminuye de acuerdo a la configuración A, pero posee mayor sensibilidad al momento de discriminar el tipo de metal que está detectando. En la Tabla 4.5 y Figura 4.6 se muestra las pruebas de detección que se realizaron a los 3 metales a una distancia entre 0 cm y 3 cm con la configuración B de la bobina.

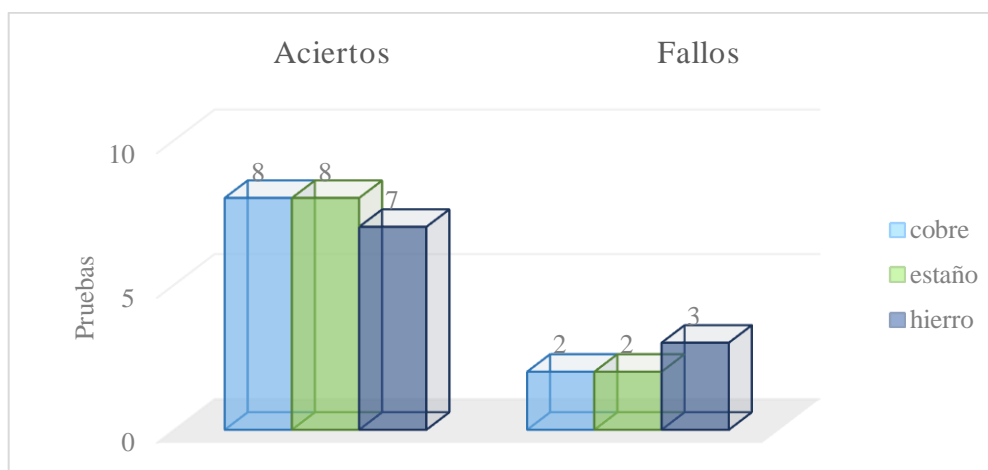
Tabla 4.5 Pruebas de detección con la configuración B hasta 3 cm

No. Prueba	Detección del Metal																			
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9		No. 10	
<b>Metal</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>cobre</b>	x			x	x			x	x		x		x		x		x		x	
<b>estaño</b>	x		x		x		x			x		x	x		x		x		x	
<b>hierro</b>	x			x	x		x			x	x			x	x		x		x	
<b>Configuración B</b>					<b>cobre</b>					<b>estaño</b>					<b>hierro</b>					
<b>No. Aciertos</b>					8					8					7					
<b>No. Fallos</b>					2					2					3					
<b>P. Aprobación (%)</b>					80%					80%					70%					
<b>Nivel de Aprobación</b>					<b>APRUEBA</b>					<b>APRUEBA</b>					<b>APRUEBA</b>					

Tabla de obtención de datos de detección mediante pruebas a los 3 metales desde 0 cm hasta 3 cm

Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Figura 4.6 Gráfica de pruebas de detección con la configuración B hasta 3 cm



Gráfica de aciertos y fallos a los 3 metales desde 0 cm hasta 3 cm Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

En la Tabla 4.6 y Figura 4.7 se muestra las pruebas de discriminación que se realizaron a los 3 metales a una distancia entre 0 cm y 3 cm con la configuración B de la bobina.

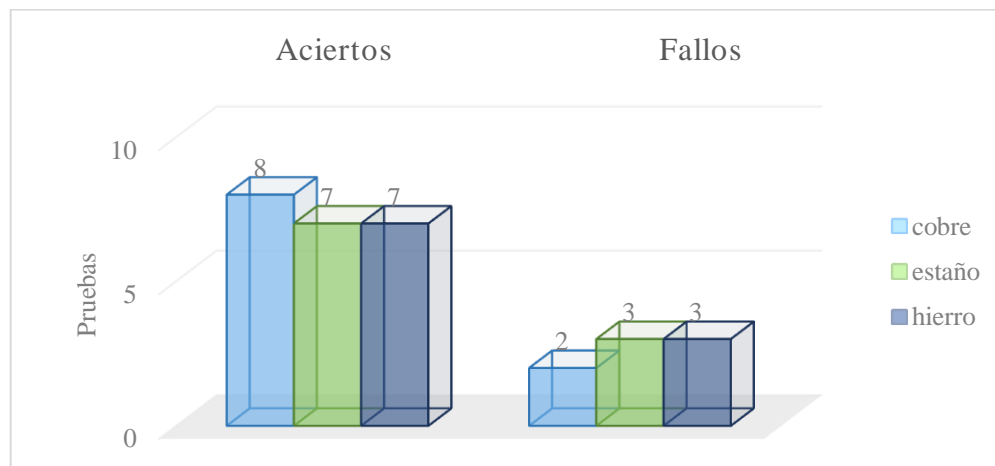
Tabla 4.6 Pruebas de discriminación con la configuración B hasta 3 cm

No. Prueba	Discriminación del Metal																			
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9		No. 10	
<b>Metal</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>cobre</b>		x	x		x			x	x		x		x		x		x		x	
<b>estaño</b>	x			x		x	x		x			x	x		x		x		x	
<b>hierro</b>		x	x		x		x		x		x		x			x	x			x
<b>Configuración B</b>					<b>cobre</b>					<b>estaño</b>					<b>hierro</b>					
<b>No. Aciertos</b>					8					7					7					
<b>No. Fallos</b>					2					3					3					
<b>P. Aprobación (%)</b>					80%					70%					70%					
<b>Nivel de Aprobación</b>					<b>APRUEBA</b>					<b>APRUEBA</b>					<b>APRUEBA</b>					

Tabla de obtención de datos de discriminación mediante pruebas a los 3 metales desde 0 cm hasta 3 cm

Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Figura 4.7 Gráfica de pruebas de discriminación con la configuración B hasta 3 cm



Gráfica de aciertos y fallos a los 3 metales desde 0 cm hasta 3 cm Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

En la Tabla 4.7 y Figura 4.8 se muestra las pruebas de detección que se realizaron a los 3 metales a una distancia entre 3 cm y 5 cm con la configuración B de la bobina.



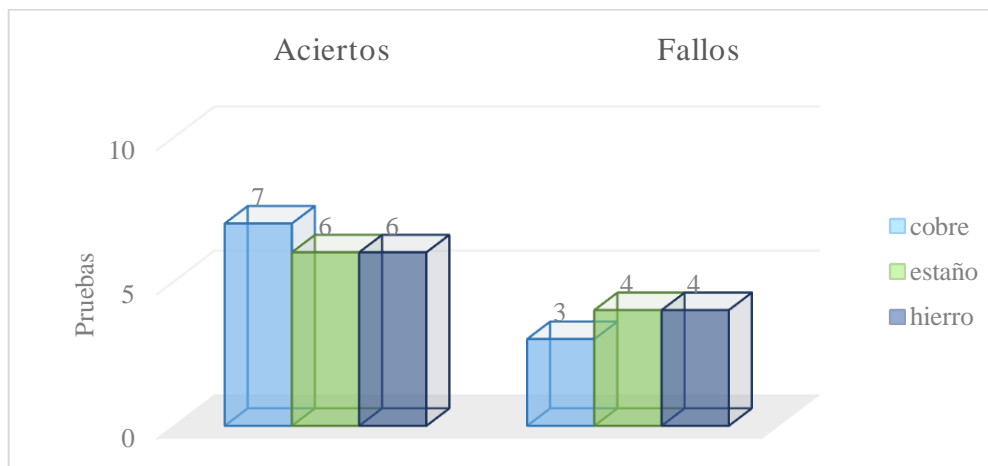
Tabla 4.7 Pruebas de detección con la configuración B hasta 5 cm

No. Prueba	Detección del Metal																			
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9		No. 10	
<b>Metal</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>cobre</b>	x		x		x			x		x	x			x	x		x		x	
<b>estaño</b>		x		x	x		x		x			x	x		x		x		x	
<b>hierro</b>	x	x		x	x		x			x	x			x	x		x		x	
<b>Configuración B</b>					<b>cobre</b>					<b>estaño</b>					<b>hierro</b>					
<b>No. Aciertos</b>					7					6					6					
<b>No. Fallos</b>					3					4					4					
<b>P. Aprobación (%)</b>					70%					60%					60%					
<b>Nivel de Aprobación</b>					<b>APRUEBA</b>					<b>NO APRUEBA</b>					<b>NO APRUEBA</b>					

Tabla de obtención de datos de detección mediante pruebas a los 3 metales desde 3 cm hasta 5 cm

Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Figura 4.8 Gráfica de pruebas de detección con la configuración B hasta 5 cm



Gráfica de aciertos y fallos a los 3 metales desde 3 cm hasta 5 cm Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

En la Tabla 4.8 y Figura 4.9 se muestra las pruebas de discriminación que se realizaron a los 3 metales a una distancia entre 3 cm y 5 cm con la configuración B de la bobina.

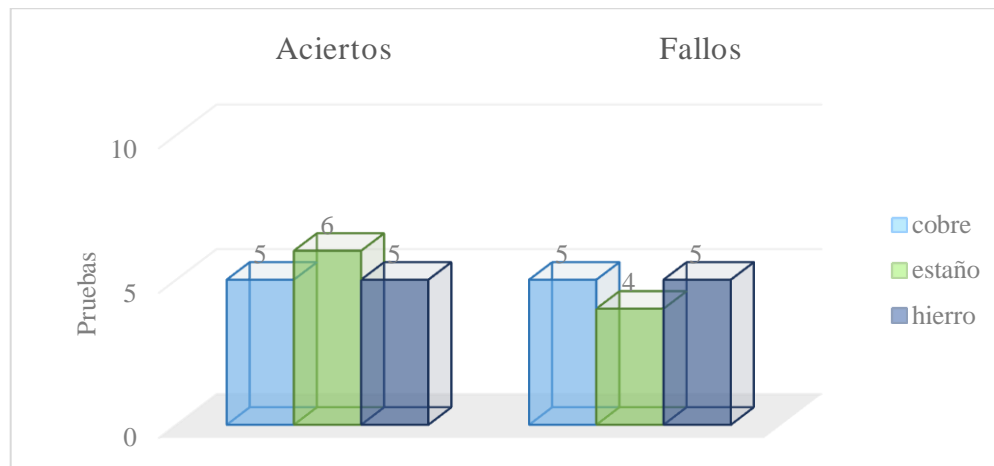
Tabla 4.8 Pruebas de discriminación con la configuración B hasta 5 cm

No. Prueba	Discriminación del Metal																			
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9		No. 10	
<b>Metal</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>cobre</b>		x		x		x		x		x	x			x		x		x		x
<b>estaño</b>	x		x		x		x			x		x		x	x			x	x	
<b>hierro</b>		x		x		x		x	x			x	x		x			x		x
<b>Configuración B</b>					<b>cobre</b>					<b>estaño</b>					<b>hierro</b>					
<b>No. Aciertos</b>					5					6					5					
<b>No. Fallos</b>					5					4					5					
<b>P. Aprobación (%)</b>					50%					60%					50%					
<b>Nivel de Aprobación</b>					<b>NO APRUEBA</b>					<b>NO APRUEBA</b>					<b>NO APRUEBA</b>					

Tabla de obtención de datos de discriminación mediante pruebas a los 3 metales desde 3 cm hasta 5 cm

Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Figura 4.9 Gráfica de pruebas de discriminación con la configuración B hasta 5 cm



Gráfica de aciertos y fallos a los 3 metales desde 3 cm hasta 5 cm Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

La configuración C, es una adaptación de la configuración B ya que consiste en una bobina exterior de 16 cm de diámetro que cumple la función de la transmisión y en una bobina en la parte central de 12 cm de diámetro que realiza el trabajo de una bobina receptora. Los resultados con este tipo de configuración se asemejan a la configuración A, pero con una pequeña mejora al momento de discriminación de los metales. En la

Tabla 4.9 y Figura 4.10 se muestra las pruebas de detección que se realizaron a los 3 metales a una distancia entre 0 cm y 3 cm con la configuración C de la bobina.

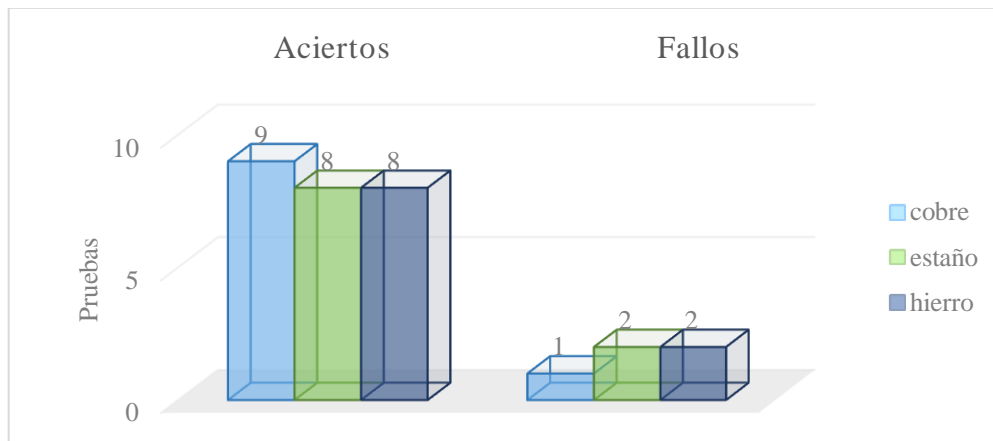
Tabla 4.9 Pruebas de detección con la configuración C hasta 3 cm

No. Prueba	Detección del Metal																			
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9		No. 10	
Metal	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
cobre		x	x		x		x		x		x		x		x		x		x	
estaño		x	x		x		x			x	x		x		x		x		x	
hierro	x		x		x			x	x		x		x		x			x		x
<b>Configuración C</b>				<b>cobre</b>				<b>estaño</b>				<b>hierro</b>								
<b>No. Aciertos</b>				9				8				8								
<b>No. Fallos</b>				1				2				2								
<b>P. Aprobación (%)</b>				90%				80%				80%								
<b>Nivel de Aprobación</b>				<b>APRUEBA</b>				<b>APRUEBA</b>				<b>APRUEBA</b>								

Tabla de obtención de datos de detección mediante pruebas a los 3 metales desde 0 cm hasta 3 cm

Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Figura 4.10 Gráfica de pruebas de detección con la configuración C hasta 3 cm



Gráfica de aciertos y fallos a los 3 metales desde 0 cm hasta 3 cm Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

En la Tabla 4.10 y Figura 4.11 se muestra las pruebas de discriminación que se realizaron a los 3 metales a una distancia entre 0 cm y 3 cm con la configuración C de la bobina.

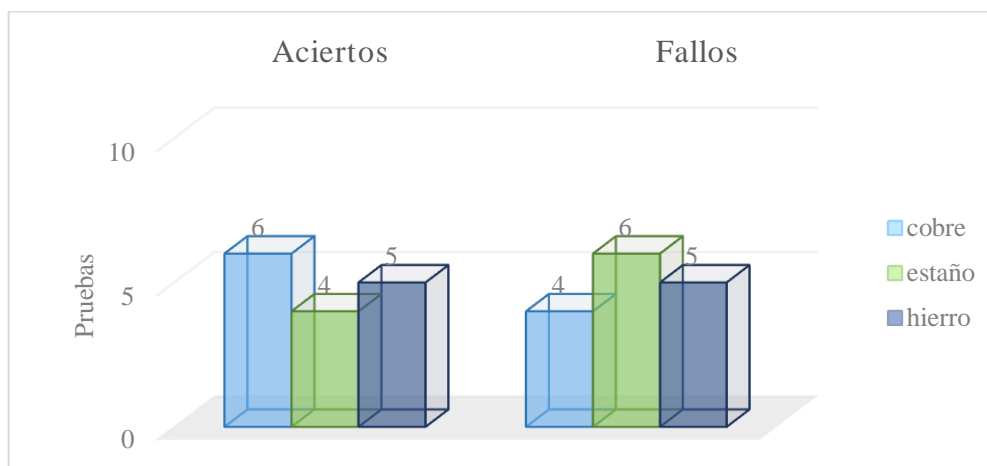
Tabla 4.10 Pruebas de discriminación con la configuración C hasta 3 cm

No. Prueba	Discriminación del Metal																			
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9		No. 10	
Metal	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
cobre	x		x		x			x	x		x			x		x	x			x
estaño		x	x		x			x		x		x	x			x		x	x	
hierro		x	x			x		x		x	x		x		x		x			x
<b>Configuración C</b>				<b>cobre</b>				<b>estaño</b>				<b>hierro</b>								
<b>No. Aciertos</b>				6				4				5								
<b>No. Fallos</b>				4				6				5								
<b>P. Aprobación (%)</b>				60%				40%				50%								
<b>Nivel de Aprobación</b>				<b>NO APRUEBA</b>				<b>NO APRUEBA</b>				<b>NO APRUEBA</b>								

Tabla de obtención de datos de discriminación mediante pruebas a los 3 metales desde 0 cm hasta 3 cm

Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Figura 4.11 Gráfica de pruebas de discriminación con la configuración C hasta 3 cm



Gráfica de aciertos y fallos a los 3 metales desde 0 cm hasta 3 cm Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

En la Tabla 4.11 y Figura 4.12 se muestra las pruebas de detección que se realizaron a los 3 metales a una distancia entre 3 cm y 5 cm con la configuración C de la bobina.

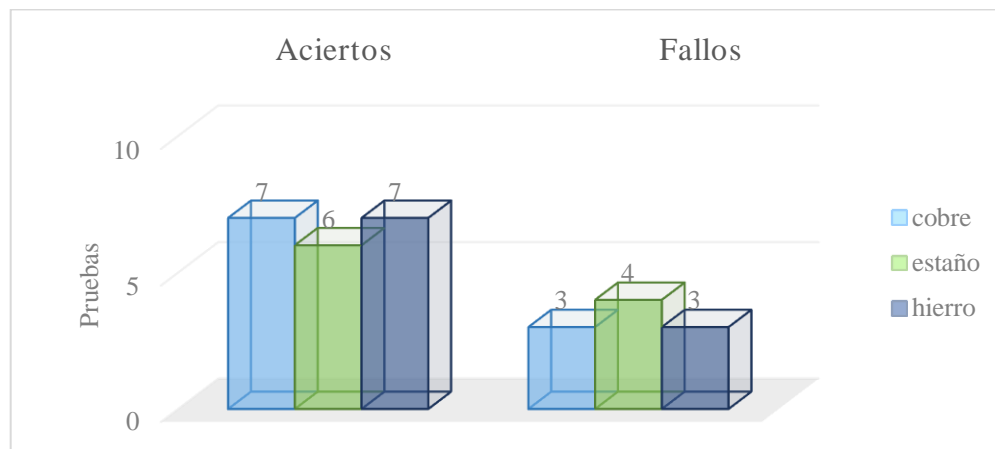
Tabla 4.11 Pruebas de detección con la configuración C hasta 5 cm

No. Prueba	Detección del Metal																			
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9		No. 10	
<b>Metal</b>	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
<b>cobre</b>	x		x		x		x			x	x		x			x	x			x
<b>estaño</b>		x	x			x	x		x		x			x	x		x		x	
<b>hierro</b>		x		x	x			x	x		x		x			x	x		x	
<b>Configuración C</b>					<b>cobre</b>					<b>estaño</b>					<b>hierro</b>					
<b>No. Aciertos</b>					7					6					7					
<b>No. Fallos</b>					3					4					3					
<b>P. Aprobación (%)</b>					70%					60%					70%					
<b>Nivel de Aprobación</b>					<b>APRUEBA</b>					<b>NO APRUEBA</b>					<b>APRUEBA</b>					

Tabla de obtención de datos de detección mediante pruebas a los 3 metales desde 3 cm hasta 5 cm

Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Figura 4.12 Gráfica de pruebas de detección con la configuración C hasta 5 cm



Gráfica de aciertos y fallos a los 3 metales desde 3 cm hasta 5 cm Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

En la Tabla 4.12 y Figura 4.13 se muestra las pruebas de discriminación que se realizaron a los 3 metales a una distancia entre 3 cm y 5 cm con la configuración C de la bobina.

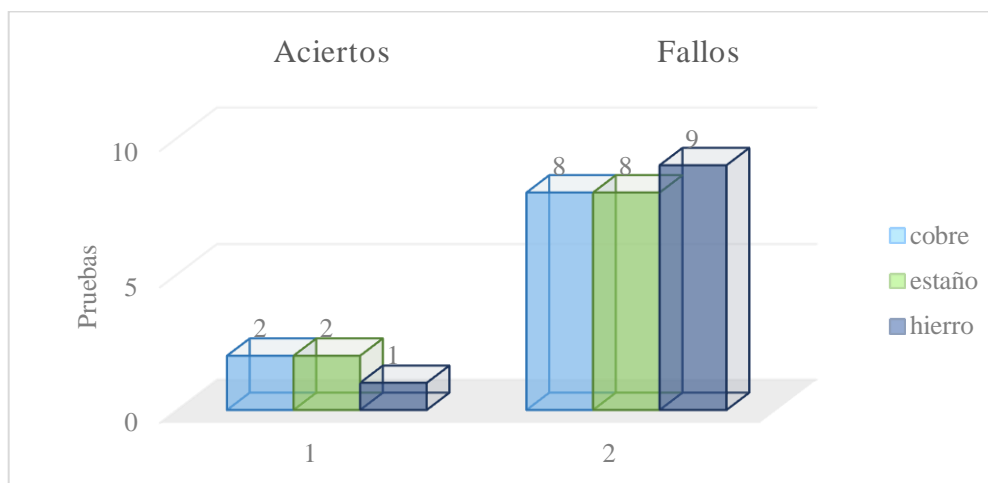
Tabla 4.12 Pruebas de discriminación con la configuración C hasta 5 cm

No. Prueba	Discriminación del Metal																			
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9		No. 10	
Metal	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
cobre	x			x		x		x		x	x			x		x		x		x
estaño		x		x		x	x			x		x		x		x		x	x	
hierro		x		x		x		x		x		x	x			x		x		x
<b>Configuración C</b>					<b>cobre</b>				<b>estaño</b>				<b>hierro</b>							
<b>No. Aciertos</b>					2				2				1							
<b>No. Fallos</b>					8				8				9							
<b>P. Aprobación (%)</b>					20%				20%				10%							
<b>Nivel de Aprobación</b>					<b>NO APRUEBA</b>				<b>NO APRUEBA</b>				<b>NO APRUEBA</b>							

Tabla de obtención de datos de discriminación mediante pruebas a los 3 metales desde 3 cm hasta 5 cm

Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Figura 4.13 Gráfica de pruebas de discriminación con la configuración C hasta 5 cm



Gráfica de aciertos y fallos a los 3 metales desde 3 cm hasta 5 cm Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

Según los resultados de las pruebas realizadas a las 3 configuraciones de las bobinas y a los rangos de distancias en los que se hicieron las pruebas se escoge la configuración B en la cual la detección y la discriminación de los metales funcionan de mejor manera al momento de trabajar con los 3 metales como se muestra en la Tabla 4.13

Tabla 4.13 Porcentaje de aprobación según las configuraciones de la bobina

	Configuración A		Configuración B		Configuración C	
	Aprobación detector	Aprobación discriminador	Aprobación detector	Aprobación discriminador	Aprobación detector	Aprobación discriminador
<b>distancia 1</b>	70,00%	36,67%	76,67%	73,33%	83,33%	50,00%
<b>distancia 2</b>	50,00%	13,33%	63,30%	53,30%	66,67%	16,67%
<b>sub-total</b>	60,00%	25,00%	69,99%	63,32%	75,00%	33,34%
<b>Total</b>	<b>42,50%</b>		<b>66,65%</b>		<b>54,17%</b>	

Tabla final para la implementación de la bobina Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

El alcance de la detección máxima de metales mediante pruebas con hierro con la configuración B se muestra en la Tabla 4.14, donde se obtienen los siguientes valores, pues si la distancia es mayor pierde la capacidad de detección.

Tabla 4.14 Distancia de detección con la configuración B

	Configuración B		
	Grosor del metal	Dimensión del metal	Distancia hasta
<b>Metal Hierro</b>	0.15 cm	(50x50) cm	56 cm
<b>Metal Hierro</b>	0.8 cm	(50x50) cm	59 cm

Tabla de alcance final de detección Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

El alcance de detección con un metal visible varía con respecto a un metal que se encuentra enterrado como se muestra en la Tabla 4.15, pues fuera de ese rango pierde su campo de detección.

Tabla 4.15 Distancia de detección, configuración B con metal visible y enterrado

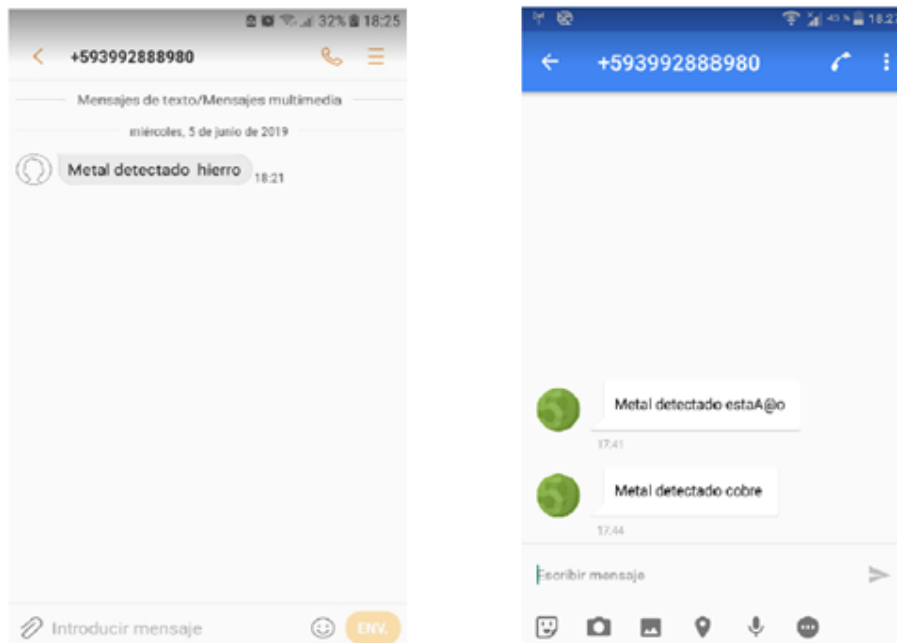
Metal Cobre	Configuración B		
	Grosor del metal	Dimensión del metal	Distancia de detección
Visible	0,05 cm	(13x20) cm	28 cm
Enterrado	0,05 cm	(13x20) cm	25 cm

Tabla de detección con metal visible y enterrado Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

#### 4.2 Pruebas en el envío de mensaje de texto hacia un dispositivo móvil

La visualización del mensaje el cual permite conocer la detección y discriminación de los metales se realiza mediante dispositivos móviles que estén registrados en la programación para el envío de la información. La visualización de los mensajes de texto se muestra en la Figura 4.14.

Figura 4.14 Visualización del mensaje de texto en diferentes dispositivos móviles



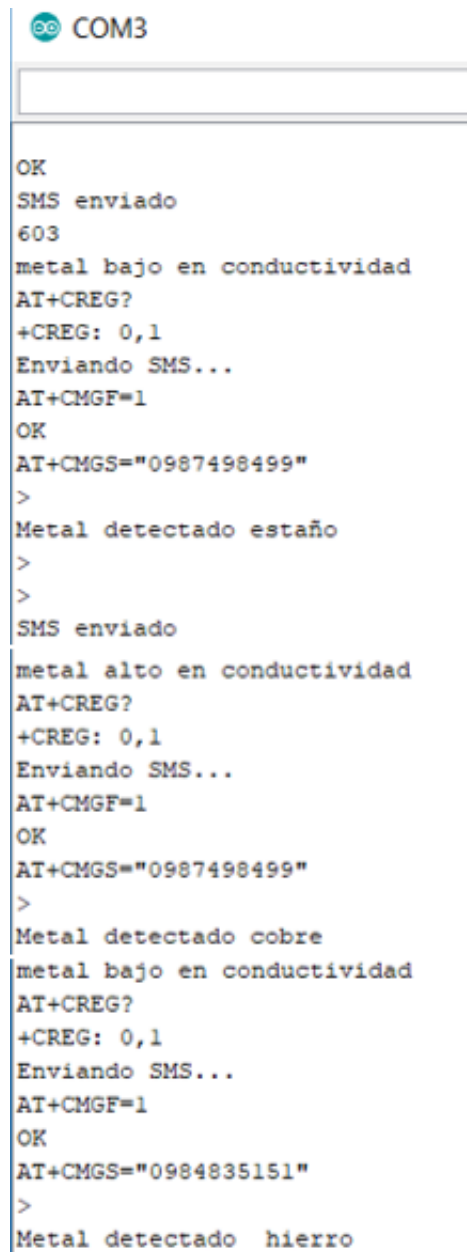
Visualización de los mensajes de texto enviados Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén



### 4.3 Pruebas en la comunicación serial al Arduino UNO

Cuando la comunicación serial con el Arduino Uno está activa se verifican los mensajes de textos que se envían en ese momento a los usuarios registrados mediante su número de teléfono celular como se muestra en la Figura 4.15.

Figura 4.15 Visualización de la comunicación serial



```
COM3
OK
SMS enviado
603
metal bajo en conductividad
AT+CREG?
+CREG: 0,1
Enviando SMS...
AT+CMGF=1
OK
AT+CMGS="0987498499"
>
Metal detectado estaño
>
>
SMS enviado
metal alto en conductividad
AT+CREG?
+CREG: 0,1
Enviando SMS...
AT+CMGF=1
OK
AT+CMGS="0987498499"
>
Metal detectado cobre
metal bajo en conductividad
AT+CREG?
+CREG: 0,1
Enviando SMS...
AT+CMGF=1
OK
AT+CMGS="0984835151"
>
Metal detectado hierro
```

Visualización de la comunicación serial del Arduino Uno Elaborado por: Cristhian Aguirre, Christian Guillén

## CONCLUSIONES

Se concluye que el uso de los metales con los que se trabajó cobre, hierro y estaño sirven para la detección y discriminación debido a la diferencia de conductividad entre ellos, además de ser metales de fácil obtención y abundantes en la naturaleza, no es necesario el uso de otros metales como el oro o plata ya que en el mercado pueden variar su precio en grandes cantidades.

Para que la señal sea audible al ser humano se implementó un circuito que realiza la suma algebraica entre la frecuencia fija de 455 kHz y la frecuencia de exploración de 456 kHz, trabajando solo con las frecuencias fundamentales o primeros armónicos evitando etapas de amplificación adicionales.

El diámetro de la bobina se construyó a 16 centímetros para alcanzar una buena detección y discriminación ya que a mayor distancia de detección mayor debe ser su diámetro y menor diámetro mejor discriminación del metal, además su tamaño es ideal para las dimensiones del drone DJI Phantom 3 utilizado en el proyecto.

Al realizar las pruebas se concluye que la posición de la bobina con respecto al metal es muy importante ya que el campo magnético debe estar perpendicular al material para obtener una rápida precisión en la discriminación.

Analizando la Tabla 4.14 se puede verificar que el grosor y peso del material no influyen directamente en la distancia de detección, pero si el área del mismo.

De acuerdo a las pruebas realizadas con las diferentes configuraciones de la bobina se pudo seleccionar la tipo B con un 66,65% de aprobación en discriminación y detección de los materiales como se puede observar en la Tabla 4.13.

La distancia máxima comprobada en las pruebas realizadas para la detección de metales es de 59 cm con un material sin enterrar de grandes dimensiones como se observa en la Tabla 4.14, con un material enterrado la distancia máxima de detección es de 25 cm

mostrado en la Tabla 4.15, pudiendo concluir que la detección del metal se garantiza si se encuentra visible o enterrado.

El cobre es el metal con mayores aciertos discriminado en un 80% como se puede verificar en la Tabla 4.6.

El uso del módulo Sim 808 mejora la interacción con el usuario debido a que las señales sonoras y visibles pueden perder su porcentaje de efectividad de acuerdo a la distancia a la que se encuentre el dron al momento de la exploración.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda utilizar un drone que contenga estabilizadores para que al momento de volar se mantenga en una posición fija sin variaciones de movimiento por el viento incidente en el lugar donde se lo esté utilizando.

Se recomienda que se si desea un mayor rango de detección desde el drone, la bobina del detector de metales debe ser de un diámetro mayor al que se está utilizando y de igual manera el drone debe poseer mayor capacidad de levantar peso pues a mayor distancia de detección de metales mayor es el diámetro de la bobina utilizada en el drone.

Se recomienda utilizar un drone con una batería que proporcione la energía suficiente para levantar un peso mayor o igual a 800 gramos, se puede utilizar uno que cuente con 4 motores de 800 kv y una batería de lipo de 4480 mAh.

Si se desea un vuelo mayor a unos 30 minutos se debería utilizar un drone hexacóptero que cuenta con 6 hélices además de una batería más potente, este drone logra levantar un peso de hasta 5 kilogramos, su desventaja es que llega a tener un precio muy elevado en el mercado de aproximadamente \$ 15 000 dólares.

La persona que va a manejar el drone en la búsqueda de materiales conductivos debe tener una comprensión amplia sobre el manejo con control remoto, es decir debe conocer todos los movimientos que puede realizar ya sea en sentido yaw, roll, pitch y throttle, para que este no sufra ninguna colisión y la búsqueda de materiales sea la correcta ya sea en su altitud como en la velocidad del drone.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, C. (6 de Enero de 2017). Minería a cielo abierto: ¿Qué es, cuáles son sus ventajas y qué tipos hay? . *La Vanguardia*.
- Azamar. (4 de Diciembre de 2017). *Electrónica y seguridad informática*. Obtenido de <https://securityassessmentsblog.wordpress.com/2017/12/04/oscilador-colpitts/>
- Detector Power*. (8 de Agosto de 2017). Obtenido de <https://www.detectorpower.com/blogs/noticias/que-tipo-de-bobina-utilizar>
- DJI. (06 de 2019). *DJI Phantom 3 Standard*. Obtenido de <https://www.dji.com/phantom-3-standard/info>
- ElectronicLab. (19 de Enero de 2016). Módulo Celular GSM GPRS + GPS – SIM 808. Colombia.
- Electropolis*. (3 de Diciembre de 2017). Obtenido de <https://www.electropolis.es/blog/como-funciona-detector-de-metales/>
- España, C., & Serna, M. (2016). *Impacto ambiental y social de la minería a cielo abierto con maquinaria pesada en el municipio de Condoto, departamento del Chocó, a partir del año 2000*. Chocó.
- Garret. (Enero de 2019). *Garret, Metal Detector*. Obtenido de [https://www.garrett.com/hobbysite/hbby\\_searchcoil\\_tech\\_sheet\\_sp.aspx](https://www.garrett.com/hobbysite/hbby_searchcoil_tech_sheet_sp.aspx)
- Geoinnova Asociación. (10 de Junio de 2016). *Geoinnova Asociación*. Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/mineria-cielo-abierto-impactos/>
- González, M. (21 de Junio de 2017). *Filmora*. Obtenido de <https://filmora.wondershare.com/es/drones/what-is-drone-how-does-it-work.html>
- Justicia, P. (5 de Febrero de 2016). *Conflict Minerals*. Obtenido de <http://conflictminerals.es/es/los-impactos-de-la-mineria/>
- ley minera (Dirección Nacional Jurídica, Departamento de Normativa Tributaria), 517 (Suplemento del Registro Oficial 21 de Mayo de 2018).
- Materiales, C. d. (Agosto de 2016). *Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales*. Obtenido de [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm11/fcm11\\_4.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm11/fcm11_4.html)
- Palacios. (2015). *Subarmonico*. Obtenido de <https://fors.doctorproaudio.com/messages/6452.html>

- Pérez. (2016). *Audicion Humana UNICAN*. Obtenido de <https://personales.unican.es/perezvr/pdf/La%20Audicion%20Humana.pdf>
- SimCom. (20 de Marzo de 2015). *Sim 808, Hardware design V1.02*. Obtenido de [https://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=File:SIM808\\_Hardware\\_Design\\_V1.02.pdf](https://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=File:SIM808_Hardware_Design_V1.02.pdf)
- Tallerelectronica. (2016). *Taller Electrónica*. Obtenido de <https://tallerelectronica.com/resonador-ceramico/>
- tecnotron, E. (Abril de 2016). *Naturaleza Educativa*. Obtenido de <https://natureduca.com/blog/el-electron-es-divertido-como-construir-un-detector-de-metales-cazatesoros/>
- Unicrom. (16 de Octubre de 2015). *Electrónica Unicrom*. Obtenido de <https://unicrom.com/osciladores-electronicos/>

## ANEXOS

### Anexo 1: PROGRAMACIÓN PARA LA DISCRIMINACIÓN DE LOS METALES REALIZADA EN ARDUINO

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial SIM900(10,11); // configura el puerto serial para el SIM.

int respuesta; // variable entera que se utiliza para el adc
int entrada = 0; // puerto analogico del arduino uno
int valor = 0; // lectura final del adc
int led1 = 6; // puerto digital de led1
int led2 = 7; // puerto digital de led2

//Contenido del sms que enviamos. \x1A corresponde al caracter de finalizacion
char sms[] = "Metal detectado estaño\x1A \r\n";
char sms1[] = "Metal detectado cobre\x1A \r\n";
char sms2[] = "Metal detectado bronce \x1A \r\n";

void setup(){
  SIM900.begin(9600); //configura velocidad del puerto serie para el SIM808
  Serial.begin(9600); //configura velocidad del puerto serie del Arduino
  pinMode(led1,OUTPUT);
  pinMode(led2,OUTPUT);
  delay(1000);
  Serial.println("Iniciando...");
  power_on();
  iniciar();
}

void loop(){
  valor = analogRead(entr)*1.21; // lectura adc del arduino uno
  Serial.println(val); // impresion del valor de salir del adc
  delay(1200);
  if(valor >= 514 && valor <= 523){ // rango para detectar metales conductivos, puede variar de acuerdo a la posicion de la bobina
    delay(3000);
    digitalWrite(led1,LOW);
    digitalWrite(led2,HIGH);
    Serial.println("metal bajo en conductividad");
    mensaje_sms2(); // llama al objeto en donde se declara el mensaje que se va a enviar mediante la SIM
  }
  else {
    digitalWrite(led2,LOW);
  }

  if(valor >= 587 && valor <= 589){ // rango para detectar metales conductivos, puede variar de acuerdo a la posicion de la bobina
    delay(3000);
    digitalWrite(led1,HIGH);
    digitalWrite(led2,LOW);
    Serial.println("metal alto en conductividad");
    mensaje_sms1(); // llama al objeto en donde se declara el mensaje que se va a enviar mediante la SIM
  }
  else {
    digitalWrite(led1,LOW);
  }

  if(valor >= 510 && valor <= 512){ // rango para detectar metales conductivos, puede variar de acuerdo a la posicion de la bobina
    delay(3000);
    digitalWrite(led1,HIGH);
    digitalWrite(led2,LOW);

    Serial.println("metal bajo en conductividad");
    mensaje_sms(); // llama al objeto en donde se declara el mensaje que se va a enviar mediante la SIM
  }
  else {
    digitalWrite(led1,LOW);
  }

  if (Serial.available())
    switch (Serial.read()) // lectura serial mediante computador mediante 9600 baudios
    {
      case 's':

        break;
    }
  if (SIM900.available()) {
    Serial.write(SIM900.read()); // escritura del serial a velocidad 9600 baudios
  }
}

int enviarAT(char* ATcommand, char* resp_correcta, unsigned int tiempo)
{
  int x = 0;
  bool correcto = 0;
  char respuesta[100];
```

```

memset(respuesta, '\0', 100); // Inicializa el string
delay(100);
while ( SIM900.available() > 0) SIM900.read(); // Limpia el buffer de entrada
x = 0;
anterior = millis();
// Espera una respuesta
do {
  // si hay datos el buffer de entrada del UART lee y comprueba la respuesta
  if (SIM900.available() != 0)
  {
    //Comprueba que no haya desbordamiento en la capacidad del buffer
    if (x < 99) {
      respuesta[x] = SIM900.read();
      x++;
    }
    else Serial.println("Desbordamiento!");
    // Comprueba si la respuesta del modulo es la 1
    if (strstr(respuesta, resp_correcta) != NULL)
    {
      correcto = 1;
    }
  }
}
// Espera hasta tener una respuesta
while ((correcto == 0) && ((millis() - anterior) < tiempo));
Serial.println(respuesta);

return correcto;
void power_on()
{
  int respuesta = 0;

  // Comprueba que el modulo SIM900 esta arrancado
  if (enviarAT("AT", "OK", 2000) == 0) //comprueba la conexion a la red
  {
    Serial.println("Encendiendo el GPRS...");

    pinMode(9, OUTPUT);
    digitalWrite(9, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(9, LOW);
    delay(1000);

    // Espera la respuesta del modulo SIM900
    while (respuesta == 0) {
      // Envia un comando AT cada 2 segundos y espera la respuesta
      respuesta = enviarAT("AT", "OK", 2000);
      SIM900.println(respuesta);
    }
  }
}

void power_off()
{
  digitalWrite(9, HIGH);
  delay(1000);

  digitalWrite(9, LOW);
  delay(1000);
}

void reiniciar()
{
  Serial.println("Reiniciando...");
  power_off();
  delay (5000);
  power_on();
}

void iniciar()
{
  //enviarAT("AT+CPIN=\r\n1867\r\n", "OK", 1000);
  Serial.println("Conectando a la red...");
  delay (5000);

  //espera hasta estar conectado a la red movil
  while ( env("AT+CREG?", "+CREG: 0,1", 1000) == 0 )
  {
  }
  Serial.println("Conectado a la red.");
  enviarAT("AT+CMGF=1\r", "OK", 1000); //Configura el modo texto para enviar o recibir mensajes
  //enviarAT("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r", "OK", 1000); //Configuramos el modulo para que nos muestre los SMS recibidos por comunicacion serie
  Serial.println("Preparado.");
}

```



```

void mensaje_sms()
{
  if (enviarAT("AT+CREG?", "+CREG: 0,1", 1000) == 1) //comprueba la conexion a la red
  {
    Serial.println("Enviando SMS...");
    env("AT+CMGF=1\r", "OK", 1000); //Comando AT para mandar un SMS
    sprintf(aux_str, "AT+CMGS=\0992888980\\"", strlen(sms)); //Numero al que vamos a enviar el mensaje
    //Texto del mensaje
    if (enviarAT(aux_str, ">", 10000) == 1)
    {
      enviarAT(sms, "OK", 10000);
    }
    Serial.println("SMS enviado");
  }
  else
  {
    reiniciar();
    iniciar();
  }
}

```

```

void mensaje_sms1()
{
  if (env("AT+CREG?", "+CREG: 0,1", 1000) == 1) //comprueba la conexion a la red
  {
    Serial.println("Enviando SMS...");

    enviarAT("AT+CMGF=1\r", "OK", 1000); //Comando AT para mandar un SMS
    sprintf(aux_str, "AT+CMGS=\0992888980\\"", strlen(sms1)); //Numero al que vamos a enviar el mensaje
    //Texto del mensaje
    if (env(aux_str, ">", 10000) == 1)
    {
      enviarAT(sms1, "OK", 10000);
    }
    Serial.println("SMS enviado 1");
  }
  else
  {
    reiniciar();
    iniciar();
  }
}

```

```

void mensaje_sms2()
{
  if (enviarAT("AT+CREG?", "+CREG: 0,1", 1000) == 1) //comprueba la conexion a la red
  {
    Serial.println("Enviando SMS...");
    env("AT+CMGF=1\r", "OK", 1000); //Comando AT para mandar un SMS
    sprintf(aux_str, "AT+CMGS=\0992888980\\"", strlen(sms2)); //Numero al que vamos a enviar el mensaje
    //Texto del mensaje
    if (env(aux_str, ">", 10000) == 1)
    {
      env(sms2, "OK", 10000);
    }

```

---

```

      env(sms2, "OK", 10000);
    }
    Serial.println("SMS enviado 1");
  }
  else
  {
    reiniciar();
    iniciar();
  }
}
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}

```