

**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE DETECCIÓN DE METALES  
PESADOS EN LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS  
SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE PEREIRA**

**JONATHAN GARCÍA DÍAZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
PEREIRA, 2013**

**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE DETECCIÓN DE METALES  
PESADOS EN LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS  
SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE PEREIRA**

**JONATHAN GARCÍA DÍAZ**

**Proyecto de grado para optar el título de  
Ingeniero Electrónico**

**Director  
Msc JIMMY ALEXANDER CORTÉS  
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
PEREIRA, 2013**

"Dedico este proyecto a Dios por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para seguir adelante, rompiendo las barreras que se me presenten. A mi madre, mi esposa e hija por el apoyo y entrega que me han brindado estos años de completa alegría y triunfos".

Jonathan.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

Mi esposa, mi hija y mi suegra por su apoyo incondicional.

Mi madre y mis familiares por su compañía durante la vida.

Mis amigos por su acompañamiento y ayuda permanente.

Mis profesores y amigos de la Universidad Tecnológica de Pereira por su aporte y conocimientos en su labor.

Mi Director de Trabajo de Grado, Msc Jimmy Alexander Cortés por su valiosa dedicación y apoyo.

Mi asesor de Trabajo de Grado, Ing. Diego Salazar por sus importantes ayudas y recomendaciones.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES	15
1.1 TÍTULO	15
1.2 SITUACIÓN PROBLEMA	15
1.2.1 Planteamiento del Problema	15
1.2.2 Formulación del Problema	17
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo General	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
1.4 JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.4.1 Justificación	18
1.4.2 Delimitación de la Investigación	19
CAPÍTULO II. MARCO DE REFERENCIA	20
2.1 MARCO TEÓRICO	20
2.1.1 Detector de Metales	20
2.1.2 Descripción del Circuito	21
2.1.3 Inductancia	21
2.1.3.1 Factores que determinan la Inductancia	24
2.1.3.2 Valores de Inductancia y $f_{cem}$	25
2.2 MARCO CONCEPTUAL	26
2.2.1 Detectores de dominio en frecuencia	26
2.2.2 Detectores de dominio en tiempo	26
2.2.3 Detector VLF	26
2.3 MARCO DE ANTECEDENTES	27
2.3.1 Trabajos investigativos en la clasificación de objetos metálicos	27
2.3.2 Trabajos de campo en la evaluación de detectores de metales	28
2.3.3 Proyecto SCAN I	29
2.4 MARCO LEGAL	29
2.4.1 Ley 142 de 1994	29
2.4.2 Ley 632 de 2000	29
2.4.3 Ley 689 de 2001	30
2.4.4 Resolución CRA 151 de 2001	30
2.4.5 Decreto 891 de 2002	30
2.4.6 Decreto 1713 de 2002	30

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS	31
3.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	31
3.2 VARIABLES	31
3.3 TIPO DE ESTUDIO	32
3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	32
3.5 FUENTES DE INFORMACIÓN	33
3.5.1 Primarias	33
3.5.2 Secundarias	33
3.6 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	33
3.6.1 Población	33
3.6.2 Muestra	34
3.7 FASES DE LA INVESTIGACIÓN	35
CAPÍTULO IV. SITUACIÓN ACTUAL DEL SERVICIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS EN LAS EMPRESAS CLIENTES DEL RELLENO SANITARIO	36
4.1 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	36
4.2 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	37
4.2.1 Tabulación y Gráfico de la información	37
4.2.2 Conclusiones de la Encuesta	48
CAPÍTULO V. ESPECIFICACIONES	50
5.1 PARAMETROS DEL DETECTOR DE METALES	50
5.2 ESPECIFICACIONES DEL HARDWARE	50
5.3 SOFTWARE IMPLEMENTADO	51
5.4 REQUERIMIENTOS DEL SOFTWARE	52
5.5 BLANCOS A DETECTAR	52
CAPÍTULO VI. DESARROLLO	53
6.1 CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO DE DETECCIÓN DE METALES	53
6.1.1 Construcción de las Bobinas de prueba para el Detector de Metales	54
6.1.2 Bobina del Detector de Metales	56
6.2 DISEÑO DEL HARDWARE DE CONTROL	56
6.2.1 Modos de Operación	57
6.2.1.1 Módulo VLF	57
6.2.1.2 Módulo PI	60
6.2.2 Circuito en Proteus	64
6.3 CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO DEL DETECTOR DE METALES	65
6.3.1 Tarjetas del Circuito de prueba para el Detector de Metales	65
6.3.2 Tarjeta del Circuito del Detector de Metales	65
6.3.3 Lista de componentes utilizados en el Detector de Metales	67
6.3.4 Fuente de alimentación del circuito	68
6.3.5 Comunicación	69
6.3.6 Determinación de la frecuencia óptima de Detección	69
6.4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE DE DISCRIMINACIÓN	70
6.4.1 Modo Detección	71

6.4.1.1 Interfaz gráfica del Detector PI	71
6.4.1.2 Configuración de la tarjeta de sonido	72
6.4.1.3 Configuración Puerto Serial VISA.	74
6.4.1.4 Diseño del diagrama de bloque del detector PI	75
6.4.2 Modo Discriminación	77
6.4.2.1 Interfaz gráfica LabVIEW del Detector VLF	77
6.4.2.2 Diseño del diagrama de bloque del detector VLF	79
6.4.3 Manual de manejo de la interfaz gráfica LabVIEW	81
<b>CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>83</b>
7.1 RESULTADOS DEL DISPOSITIVO DE DETECCIÓN	83
7.2 RESULTADOS CON EL HARDWARE DE CONTROL	83
7.2.1 Muestra de Pruebas de Detección	83
7.2.2 Resultados de detección de metales con tecnología PI	86
7.2.3 Resultados de discriminación de metales con tecnología PI	93
7.2.4 Resultados de detección de metales con tecnología VLF	99
7.2.5 Resultados de discriminación de metales con tecnología VLF	109
7.2.6 Señal y Espectro en Frecuencia de los metales con tecnología VLF	116
7.3 COSTO DEL PROYECTO DEL DETECTOR DE METALES	124
<b>CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>125</b>
8.1 CONCLUSIONES	125
8.2 RECOMENDACIONES	128
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>129</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>132</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico No. 1. Diagrama de bloques del detector de metales, ver anexo No. 3. ..	21
Gráfico No. 2. Inductores (L) opuestos al cambio de la corriente en el circuito ....	22
Gráfico No. 3. Inductor con núcleo de aire.....	23
Gráfico No. 4. Inductor con núcleo de hierro .....	24
Gráfico No. 5. Tiempo como cliente.....	38
Gráfico No. 6. Cantidad de residuos sólidos depositados.....	39
Gráfico No. 7. Importancia del reciclaje. ....	40
Gráfico No. 8. Conocimiento de los metales pesados. ....	41
Gráfico No. 9. Presencia de metales pesados en los residuos sólidos.....	42
Gráfico No. 10. Manejo de residuos sólidos por parte del relleno sanitario. ....	43
Gráfico No. 11. Reciclaje de metales pesados. ....	44
Gráfico No. 12. Importancia de los dispositivos de detección de metales. ....	45
Gráfico No. 13. Uso del dispositivos en la disposición final de residuos sólidos... ..	46
Gráfico No. 14. Beneficios del reciclaje de metales pesados. ....	47
Gráfico No. 15. Microcontrolador PIC 18f2550 .....	57
Gráfico No. 16. Módulo VLF .....	58
Gráfico No. 17. Módulo de amplitud y desfase .....	59
Gráfico No. 18. Módulos PI.....	61
Gráfico No. 19. Señal de respuesta del material al pulso .....	62
Gráfico No. 20. Circuito en proteus del detector de metales.....	64
Gráfico No. 21. Circuito impreso de la capa de componentes en la tarjeta .....	66
Gráfico No. 22. Interfaz gráfica del detector PI .....	71
Gráfico No. 23. Diagrama de bloque del detector PI.....	72
Gráfico No. 24. Configuración de la tarjeta de sonido.....	73
Gráfico No. 25. Configuración del puerto serial visa .....	75
Gráfico No. 26. Estructura case tipo boolean .....	75
Gráfico No. 27. Diagrama de bloque para VLF y PI.....	76
Gráfico No. 28. Detección y discriminación del metal modulo PI.....	77
Gráfico No. 29. Interfaz gráfica del detector VLF.....	78
Gráfico No. 30. Diagrama de bloque del detector VLF .....	78
Gráfico No. 31. Detección del metal .....	79
Gráfico No. 32. Selección de amplitud y desfase.....	80
Gráfico No. 33. Discriminación del metal .....	80
Gráfico No. 34. Soportes de distancia entre los blancos y la bobina. ....	86
Gráfico No. 35. Detección de los blancos tangente a la bobina.....	87
Gráfico No. 36. Detección de los blancos a 1 y 2 cm de distancia de la bobina. ..	88
Gráfico No. 37. Detección de los blancos a 3 cm de distancia de la bobina.....	89



Gráfico No. 38. Detección de los blancos desde 4 cm hasta 6 cm de distancia de la bobina. ....	90
Gráfico No. 39. Detección de los blancos a 7 cm de distancia de la bobina. ....	91
Gráfico No. 40. Nivel de calificación de detección a diferentes distancias de la bobina. ....	92
Gráfico No. 41. Discriminación de los blancos tangente a la bobina. ....	94
Gráfico No. 42. Discriminación de los blancos a 1 y 2 cm de distancia de la bobina. ....	95
Gráfico No. 43. Discriminación de los blancos a 3 cm de distancia de la bobina. ..	96
Gráfico No. 44. Discriminación de los blancos a 4 cm de distancia de la bobina. ..	97
Gráfico No. 45. Nivel de calificación de discriminación a diferentes distancias de la bobina. ....	98
Gráfico No. 46. Detección de los blancos tangente a la bobina. ....	100
Gráfico No. 47. Detección de los blancos desde 1 cm hasta 7 cm de distancia de la bobina. ....	101
Gráfico No. 48. Detección de los blancos a 8 cm de distancia de la bobina. ....	102
Gráfico No. 49. Detección de los blancos a 9 y 10 cm de distancia de la bobina. ....	103
Gráfico No. 50. Detección de los blancos a 11 cm de distancia de la bobina. ....	104
Gráfico No. 51. Detección de los blancos a 12 cm de distancia de la bobina. ....	105
Gráfico No. 52. Detección de los blancos a 13 cm de distancia de la bobina. ....	106
Gráfico No. 53. Detección de los blancos a 14 cm de distancia de la bobina. ....	107
Gráfico No. 54. Nivel de calificación de detección a diferentes distancias de la bobina. ....	108
Gráfico No. 55. Discriminación de los blancos tangente a la bobina. ....	110
Gráfico No. 56. Discriminación de los blancos a 1 cm de distancia de la bobina. ....	111
Gráfico No. 57. Discriminación de los blancos desde 2 cm hasta 5 cm de distancia de la bobina. ....	112
Gráfico No. 58. Discriminación de los blancos desde 6 cm hasta 12 cm de distancia de la bobina. ....	113
Gráfico No. 59. Discriminación de los blancos a 13 cm de distancia de la bobina. ....	114
Gráfico No. 60. Nivel de calificación de discriminación a diferentes distancias de la bobina. ....	115
Gráfico No. 61. Señal de la bobina en vacío. ....	117
Gráfico No. 62. Espectro de la señal de la bobina en vacío. ....	117
Gráfico No. 63. Señal de respuesta con el blanco I. ....	117
Gráfico No. 64. Espectro de la señal de respuesta con el blanco I. ....	118
Gráfico No. 65. Señal de respuesta con el blanco II. ....	118
Gráfico No. 66. Espectro de la señal de respuesta con el blanco II. ....	118
Gráfico No. 67. Señal de respuesta con el blanco III. ....	119
Gráfico No. 68. Espectro de la señal de respuesta con el blanco III. ....	119
Gráfico No. 69. Señal de respuesta con el blanco IV. ....	119
Gráfico No. 70. Espectro de la señal de respuesta con el blanco IV. ....	120
Gráfico No. 71. Señal de respuesta con el blanco V. ....	120
Gráfico No. 72. Espectro de la señal de respuesta con el blanco V. ....	120

Gráfico No. 73. Señal de respuesta con el blanco VI.....	121
Gráfico No. 74. Espectro de la señal de respuesta con el blanco VI. ....	121
Gráfico No. 75. Señal de respuesta con el blanco VII.....	121
Gráfico No. 76. Espectro de la señal de respuesta con el blanco VII. ....	122
Gráfico No. 77. Señal de respuesta con el blanco VIII.....	122
Gráfico No. 78. Espectro de la señal de respuesta con el blanco VIII. ....	122
Gráfico No. 79. Señal de respuesta con el blanco IX.....	123
Gráfico No. 80. Espectro de respuesta con el blanco IX.....	123

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla No. 1. Tiempo como cliente. ....	38
Tabla No. 2. Cantidad de residuos sólidos depositados. ....	39
Tabla No. 3. Importancia del reciclaje.....	40
Tabla No. 4. Conocimiento de los metales pesados.....	41
Tabla No. 5. Presencia de metales pesados en los residuos sólidos. ....	42
Tabla No. 6. Manejo de residuos sólidos por parte del relleno sanitario.....	43
Tabla No. 7. Reciclaje de metales pesados.....	44
Tabla No. 8. Importancia de los dispositivos de detección de metales pesados. .	45
Tabla No. 9. Uso del dispositivos en la disposición final de residuos sólidos. ....	46
Tabla No. 10. Beneficios del reciclaje de metales pesados.....	47
Tabla No. 11. Parámetros del detector de metales.....	50
Tabla No. 12. Especificaciones del hardware. ....	51
Tabla No. 13. Software implementado.....	51
Tabla No. 14. Requerimientos del software. ....	52
Tabla No. 15. Blancos a detectar.....	52
Tabla No. 16. Especificaciones para el diseño físico de bobinas de detección ....	54
Tabla No. 17. Lista de componentes utilizados en el detector de metales. ....	67
Tabla No. 18. Nivel de calificación.....	84
Tabla No. 19. Detección de los blancos tangente a la bobina. ....	87
Tabla No. 20. Detección de los blancos a 1 y 2 cm de distancia de la bobina.....	88
Tabla No. 21. Detección de los blancos a 3 cm de distancia de la bobina. ....	89
Tabla No. 22. Detección de los blancos desde 4 cm hasta 6 cm de distancia de la bobina. ....	90
Tabla No. 23. Detección de los blancos a 7 cm de distancia de la bobina. ....	91
Tabla No. 24. Detección general de los blancos a diferentes distancias de la bobina.....	92

Tabla No. 25. Discriminación de los blancos tangente a la bobina. ....	94
Tabla No. 26. Discriminación de los blancos a 1 y 2 cm de distancia de la bobina.....	95
Tabla No. 27. Discriminación de los blancos a 3 cm de distancia de la bobina. ....	96
Tabla No. 28. Discriminación de los blancos a 4 cm de distancia de la bobina ....	97
Tabla No. 29. Discriminación general de los blancos a diferentes distancias de la bobina. ....	98
Tabla No. 30. Detección de los blancos tangente a la bobina. ....	100
Tabla No. 31. Detección de los blancos desde 1 cm hasta 7 cm de distancia de la bobina. ....	101
Tabla No. 32. Detección de los blancos a 8 cm de distancia de la bobina. ....	102
Tabla No. 33. Detección de los blancos a 9 y 10 cm de distancia de la bobina..	103
Tabla No. 34. Detección de los blancos a 11 cm de distancia de la bobina. ....	104
Tabla No. 35. Detección de los blancos a 12 cm de distancia de la bobina. ....	105
Tabla No. 36. Detección de los blancos a 13 cm de distancia de la bobina. ....	106
Tabla No. 37. Detección de los blancos a 14 cm de distancia de la bobina. ....	107
Tabla No. 38. Detección general de los blancos a diferentes distancias de la bobina. ....	108
Tabla No. 39. Discriminación de los blancos tangente a la bobina. ....	110
Tabla No. 40. Discriminación de los blancos a 1 cm de distancia de la bobina. .	111
Tabla No. 41. Discriminación de los blancos desde 2 cm hasta 5 cm de distancia de la bobina. ....	112
Tabla No. 42. Discriminación de los blancos desde 6 cm hasta 12 cm de distancia de la bobina. ....	113
Tabla No. 43. Discriminación de los blancos a 13 cm de distancia de la bobina.....	114
Tabla No. 44. Discriminación general de los blancos a diferentes distancias de la bobina. ....	115
Tabla No. 45. Valores de los resultados con analizador visual. ....	124
Tabla No. 46. Costo del proyecto del detector de metales .....	124

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía No. 1. Bobinas de pruebas del detector.....	55
Fotografía No. 2. Bobina dd del detector .....	56
Fotografía No. 3. Tarjetas del circuito de prueba para el detector .....	65
Fotografía No. 4. Tarjeta del detector de metales.....	66
Fotografía No. 5. Capa inferior de la placa del detector de metales .....	67
Fotografía No. 6. Fuente de alimentación.....	68
Fotografía No. 7. Metales pequeños.....	70
Fotografía No. 8. Metales grandes.....	70
Fotografía No. 9. Pruebas físicas del detector de metales.....	86

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo No. 1. Formato de la encuesta.....	133
Anexo No. 2. Listado de la población.....	137
Anexo No. 3. Gráfico No. 1. Diagrama de bloques del detector de metales .....	138
Anexo No. 4. Código del detector de metales.....	139
Anexo No. 5. Esquemático del circuito en proteus del detector de metales. ....	140
Anexo No. 6. Diagrama de bloque del detector PI.....	141
Anexo No. 7. Diagrama de bloque del detector VLF.....	142
Anexo No. 8. Datasheet de microcontrolador PIC 18F2550 .....	143

## INTRODUCCIÓN

Dentro de los temas que guardan relación con la problemática ambiental y que en los últimos años ha tomado fuerza en los programas de protección del medio ambiente a nivel mundial y en Colombia, se encuentra la gestión de los residuos sólidos. Esta gestión integrada es el término aplicado a todas las actividades asociadas con el manejo de los residuos dentro de la sociedad y su meta básica es administrarlos de tal forma que sean compatibles con el medio ambiente y la salud pública.

La problemática ambiental de los residuos sólidos en Colombia, y en el caso de la ciudad de Pereira, tal como lo establece la política de residuos sólidos a nivel nacional, está asociada con los siguientes aspectos fundamentales:

- Falta de conciencia y cultura ciudadana sobre el manejo de los residuos sólidos, sin tener en cuenta el impacto en el ambiente.
- Se pierde el potencial de aprovechamiento de los residuos ya que se mezclan en el origen.
- Se enfoca el manejo de los residuos en la disposición final, como es el relleno sanitario, sin contemplar otras alternativas.

La Política Ambiental Nacional contempla la implantación de la gestión integrada de residuos sólidos, no peligrosos y peligrosos, que como tal consta de una gran variedad de elementos, acciones y prácticas administrativas, que se complementan entre si y permiten manejar con seguridad y eficiencia los diversos flujos que componen los residuos sólidos. El dispositivo de detección de metales

pesados está diseñado para localizar objetos metálicos enterrados entre los residuos sólidos industriales y residenciales depositados en la disposición final de la ciudad de Pereira.

Los fundamentos de la Política para la Gestión de Residuos Sólidos en el país están contenidos principalmente en la Constitución Política, la Ley 9a. de 1979, la Ley 99 de 1993, la Ley 142 de 1994, y reglamentarias a estas normas se emiten en el Decreto 1713 de 2002, en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos y la Resolución 1045 de septiembre de 2003, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de los Residuos Sólidos – PGIRS, en el país.

Todos los suelos son diferentes, y pueden diferir en gran medida en el tipo y cantidad de minerales, los Vasos No. 5 y No. 6 del Relleno Sanitario La Glorita serán analizados con el dispositivo de detección de metales, el cual emitirá señales al momento de encontrar metales pesados con el fin de recuperarlos y reciclarlos contribuyendo a la preservación del medio ambiente y a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

## **CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 TÍTULO**

DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE DETECCIÓN DE METALES PESADOS EN LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE PEREIRA.

### **1.2 SITUACIÓN PROBLEMA**

#### **1.2.1 Planteamiento del Problema**

El problema de los residuos domiciliarios, que en otros países ha sido afrontado desde varios años atrás, apenas empieza a ser una "novedosa" preocupación en las últimas dos décadas en Colombia. La ciudad de Pereira genera un promedio aproximado de 1800 toneladas mensuales, la totalidad de estos residuos son desechados de manera indiscriminada a pesar de que se estima que el 62% de ellos son reciclables y cerca del 33% son reaprovechables. Sólo el 5% deberían ser desechados definitivamente pero no es así debido a la inexistente separación en la fuente [1].

El Relleno Sanitario La Glorita, ubicado en la vereda Combia Baja de la ciudad de Pereira, no es ajeno a los problemas de salud pública y detrimento ambiental. Esto

obedece a que se acumulan altas cantidades de desechos contaminantes orgánicos e inorgánicos y además se presentan condiciones que favorecen la reproducción de moscas y mosquitos que actúan como vectores de varias enfermedades que afectan la salud humana. Dentro de los contaminantes presentes se encuentran los metales pesados, elementos metálicos con densidad mayor a  $6 \text{ g/cm}^3$ , ampliamente reconocidos por sus efectos adversos sobre el ambiente y la salud de la población pereirana. Los metales pesados contaminan las fuentes de agua y los suelos, entre otros componentes del ambiente; éstos a su vez se transfieren a las plantas y animales para entrar y acumularse en la red alimenticia.

La presencia de contaminantes en La Glorita es demostrado por estudios realizados por la Interventoría de Disposición Final de la Empresa de Aseo de Pereira S. A. ESP, en el cual se observó la presencia de algunos gases tóxicos y el contenido de metales pesados en lixiviados producidos en el relleno sanitario. En dicho estudio se reportan concentraciones de los siguientes metales: Hierro (Fe), cobre (Cu), aluminio (Al) y plomo (Pb), corroborando el alto nivel de contaminación presente en las capas superficiales de la matriz de residuos degradados y su posible transferencia a la flora y la fauna habitante, así como la evaluación del establecimiento de coberturas vegetales apropiadas que permitan disminuir la erosión, el arrastre de partículas y la remoción de metales pesados de la capa superficial de los Vasos No. 5 y No. 6 [2].

Es así como se busca diseñar un sistema de detección de metales, que consiste en un sensor ubicado en un soporte de acrílico, formado por una bobina conectada a un dispositivo electrónico.

Este dispositivo detecta las diferencias en la intensidad del campo magnético inducidos por objetos o estructuras metálicas enterradas entre los residuos sólidos.



## **1.2.2 Formulación del Problema**

El proyecto está orientado a resolver la siguiente pregunta:

¿Cómo diseñar un dispositivo electrónico para detectar metales pesados que se encuentren entre los residuos sólidos depositados en el Relleno Sanitario La Glorita?

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un dispositivo electrónico para detectar metales pesados que se encuentren entre los residuos sólidos depositados en el Relleno Sanitario La Glorita, de tal manera que permita contribuir con el mejoramiento de la polución ambiental, los daños en la agricultura y en la salud humana.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar un dispositivo de detección de metales pesados en la disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Pereira.
- Analizar la factibilidad en la implementación del dispositivo de detección de metales pesados en el Relleno Sanitario La Glorita de la ciudad de Pereira.
- Determinar el equipo electrónico y software necesario para la implementación del dispositivo de detección.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Justificación**

Actualmente la empresa Atesa de Occidente S. A. ESP, como responsable de los procesos de barrido, recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Pereira, no cuenta con un dispositivo que permita detectar uno de los principales grupos de contaminantes presentes en los rellenos sanitarios conformado por los metales pesados, también denominados metales tóxicos o metales traza, que permita dirigir y coordinar todas las actividades relacionadas con el Servicio de Aseo Integral, a fin de que la entidad sea más eficaz y competitiva en el medio. Esta gestión integrada es el término aplicado a todas las actividades asociadas con el manejo de los diversos flujos de residuos sólidos dentro de la ciudad y su meta es administrar los residuos de tal forma que sean compatibles con el medio ambiente y la salud pública [3].

Contribuyendo con la solución de la problemática ambiental, la empresa viene desarrollando, dentro de su Plan de Gestión, un programa que tiene como propósito fundamental lograr que la ciudad aproveche los residuos que produce, generando un manejo ambientalmente responsable de los mismos, incluyendo a la población de recicladores y generando un valor agregado a la cadena productiva. Pero desafortunadamente, en relación con los metales tóxicos no se cuenta con ningún tipo de proyecto que contrarreste su condición de no degradabilidad a través de procesos biológicos, algunos de estos metales no tienen función biológica, razón por la cual se han calificado como una grave amenaza para la salud. El movimiento de los metales pesados se asocia con un inminente riesgo de contaminación de agua subterránea y agua potable [4]. Por lo anteriormente

expuesto, ¿Se hará necesario diseñar un dispositivo electrónico para detectar metales pesados que se encuentren entre los residuos sólidos depositados en el Relleno Sanitario La Glorita, de tal manera que permita contribuir con el mejoramiento de la polución ambiental, los daños en la agricultura y en la salud humana?.

Este interrogante se plantea en el presente trabajo de investigación y será labor de estudio.

#### **1.4.2 Delimitación de la Investigación**

El presente proyecto tiene una cobertura a nivel del diseño de un dispositivo electrónico para detectar metales pesados que se encuentren entre los residuos sólidos depositados en el Relleno Sanitario La Glorita de la ciudad de Pereira.

Académicamente, el proyecto se encuentra enmarcado dentro del área de la Ingeniería Electrónica aplicando conocimientos de las siguientes áreas:

- Programación.
- Circuitos.
- Electrónica Análoga.
- Electromagnetismo.
- Control.
- Diseño.
- Comunicaciones.
- Instrumentación.
- Sistemas Operativos.
- Sistemas Digitales.
- Seminario de Investigación.
- Comunicación Oral y Escrita.
- Trabajo de Grado.

## **CAPÍTULO II. MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1 MARCO TEÓRICO**

#### **2.1.1 Detector de Metales**

El detector de metales utiliza un campo electromagnético para detectar la presencia de un objeto metálico oculto, el rango depende de la intensidad del campo. Los tres métodos de detección son: detección por el golpeteo de la oscilación de la frecuencia, detección en muy baja frecuencia, y la inducción de pulso: El detector basado en el método de oscilación del ritmo de una frecuencia utiliza dos bobinas conectadas a un oscilador. Cuando la bobina de búsqueda pasa por encima de un objeto de metal, el campo electromagnético genera corrientes parásitas en el objeto que crea otro campo. Este campo interfiere con la señal de la cabeza de búsqueda para cambiar su frecuencia ligeramente. El cambio se mezcla con la señal del oscilador para crear una frecuencia de pulsación. Este tipo de detector de metales es la más simple y barato, pero también el menos sensible.

La detección a muy baja frecuencia utiliza una bobina transmisora externa y una bobina receptora interior, la bobina del transmisor produce un campo electromagnético que induce corriente en un objeto de metal, y crea otro campo que es recogido por la bobina receptora. El detector basado en el método de inducción de pulso utiliza una sola bobina para transmitir y recibir el campo electromagnético, los pulsos de corriente crean breves ráfagas de electromagnetismo que inducen corriente en la bobina, cuando se derrumba el campo, este cambio es detectado por el circuito y se convierte en una señal visual para el usuario [5].

### 2.1.2 Descripción del Circuito

El funcionamiento del detector de metales se basa por medio del flujo de campo magnético a través de una bobina y cómo éste es afectado por la presencia de un material cuando se aproxima al flujo que atraviesa la bobina. Este cambio afecta directamente la inductancia de la bobina ya que depende directamente de la permeabilidad del núcleo la cual no es la misma debido a la desviación en las líneas del flujo magnético cuando se le acerca un material que afecte la permeabilidad del medio por el cual atraviesa.

Para un mejor análisis y funcionamiento del dispositivo de detector de metales se puede referir al gráfico No. 1 que se especifica a continuación:

Gráfico No. 1. Diagrama de bloques del detector de metales, ver anexo No. 1.

### 2.1.3 Inductancia

Puesto que para una amplitud y frecuencia dadas de una corriente, la fuerza contraelectromotriz ( $f_{cem}$ ) producida por un conductor depende de la forma del mismo, la relación exacta entre la corriente, la  $f_{cem}$  y la forma del conductor, puede expresarse matemáticamente así: cuando el número de líneas de flujo producidas por la corriente se multiplica por una constante que está determinada por la forma de la bobina, el producto es igual a la  $f_{em}$  producida. La ecuación (1) es como sigue:

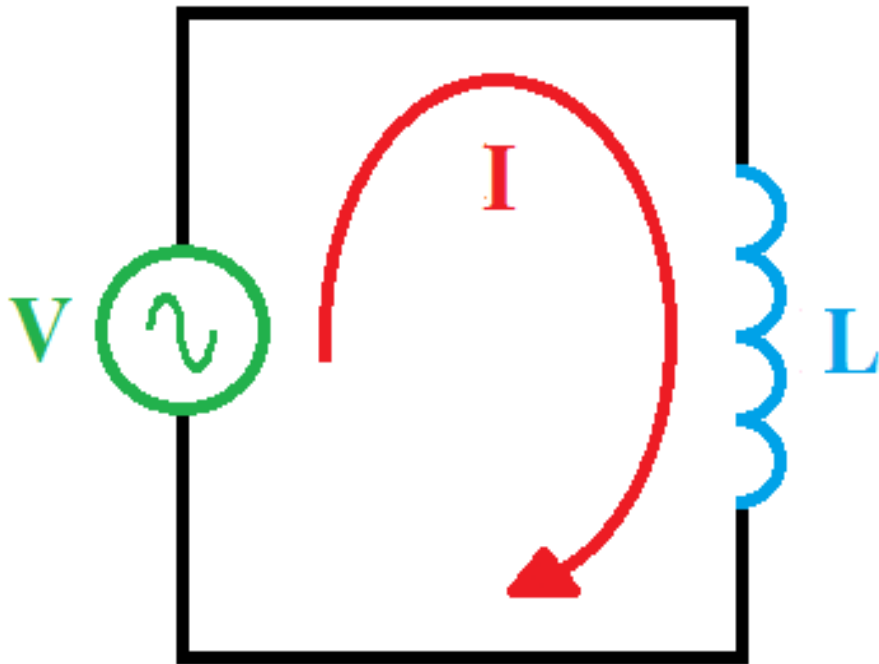
$$\text{Ec. (1)} \quad \mathbf{E \times Fem = L \times El \text{ número de líneas del flujo}}$$

La constante  $L$  que depende de la forma del conductor recibe el nombre de inductancia del conductor. La inductancia de conductores rectos, generalmente es muy baja y se puede considerar nula. Por otra parte, la inductancia de conductores embobinados puede ser elevada, y desempeña una función importante en el análisis de circuitos de corriente alterna (c-a), como se puede analizar en el gráfico No. 2.

Convenciones utilizadas:

$V$  = Voltaje,  $I$  = Corriente,  $L$  = Inductancia.

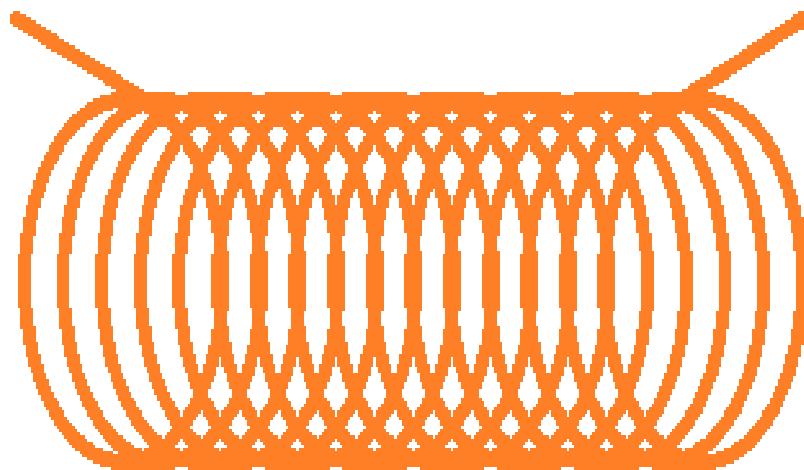
Gráfico No. 2. Inductores ( $L$ ) opuestos al cambio de la corriente en el circuito



Fuente: El Autor

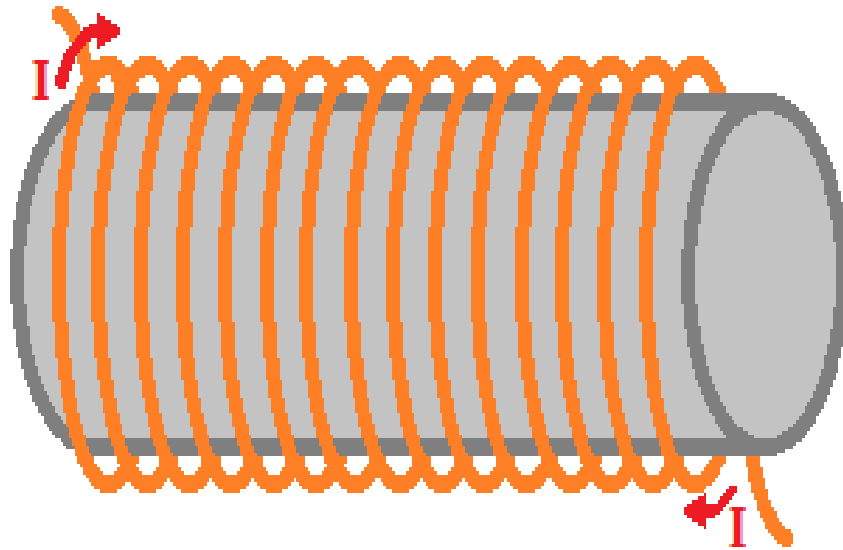
Los conductores embobinados generalmente se usan en circuitos de c-a para introducir deliberadamente inductancia en el circuito y tal conductor embobinado recibe el nombre de inductor, su operación se basa en la teoría electromagnética, según la cual, cuando circula una corriente a través de un alambre, este produce a su alrededor un campo magnético. Las líneas de fuerza que representan el campo magnético son perpendiculares a la dirección del flujo de la corriente, entre más espiras se agreguen mayor es el campo magnético en el interior. En un inductor con núcleo de aire como se muestra en el gráfico No. 3, se puede aumentar el campo magnético incrementado la corriente aplicada o llenando el espacio vacío con un núcleo de hierro como se puede observar en el gráfico No. 4 para concentrar mejor las líneas de fuerza.

Gráfico No. 3. Inductor con núcleo de aire



Fuente: El Autor

Gráfico No. 4. Inductor con núcleo de hierro



Fuente: El Autor

### 2.1.3.1 Factores que determinan la Inductancia

Las características físicas, o forma geométrica, tanto del núcleo como de los devanados alrededor del núcleo, afectan a la inductancia producida. Los inductores con núcleo magnético tienen inductancia mucho mayor que los que tienen núcleos aislantes o de aire. Esto se debe a que todas las líneas de flujo producidas por un inductor, atraviesan el núcleo y, al hacerlo, lo magnetizan si está hecho de material magnético. Entonces las líneas de flujo del campo magnético del núcleo, se suman y refuerzan a las líneas de fuerza originadas por el devanado y, por lo tanto, se produce una mayor fem. La relación entre la



inductancia y todos los factores físicos que la afectan, se expresa según la ecuación (2):

$$\text{Ec. (2)} \quad L = \frac{0,4 \times 3,14N \times \mu A}{L^2}$$

Donde N es el número de espiras;  $\mu$  es la permeabilidad del núcleo; A es el área del núcleo y L la longitud.

### 2.1.3.2 Valores de Inductancia y f<sub>cem</sub>

Es la cantidad de f<sub>cem</sub> producida por un cambio unitario de corriente. El henry es una unidad relativamente grande. Por esta razón, la inductancia se da frecuentemente en unidades menores, como el milihenry (mH) y el microhenry (μH). Un milihenry es 1/1000 de un henry y un microhenry es 1/1000000 de un henry. La expresión para f<sub>cem</sub> se encuentra especificada en la ecuación (3):

$$\text{Ec. (3)} \quad F_{cem} = -L \left( \frac{\delta I}{\delta t} \right)$$

El signo menos indica que la f<sub>cem</sub> es de polaridad opuesta a la tensión aplicada. El término  $\delta I$  es el cambio de corriente que tiene lugar en un intervalo  $\delta t$ , que es el cambio del tiempo [6].

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

Los detectores de metales en la mayoría de los casos son detectores de inducción electromagnética, detectores activos que trabajan con sistemas inductivos de baja frecuencia. Están compuestos por una cabeza de búsqueda que a su vez tienen devanados por los que circula una corriente variable en el tiempo, generando un campo magnético variable en el tiempo que se propaga en todas las direcciones. El campo primario inducido reacciona con las características magnéticas del objeto metálico encontrado y genera un campo secundario que es detectado por el devanado receptor, este último devanado crea un voltaje de respuesta que puede ser analizado, medido y convertido en una señal sonora o visual en la interfaz gráfica utilizada.

### **2.2.1 Detectores de dominio en frecuencia**

Los detectores de dominio en frecuencia utilizan para la transmisión y recepción de las señales varios devanados a una sola frecuencia, donde la amplitud y la fase de la señal inducida son indispensables para el análisis de la información.

### **2.2.2 Detectores de dominio en tiempo**

Los detectores de dominio en tiempo trabajan a 1 KHz, enviando pulsos de corriente hacia un devanado. Básicamente miden qué tan rápido decrece el campo magnético inducido en los objetos metálicos cercanos al detector.

### **2.2.3 Detector VLF**

El detector VLF (Very Low Frequency) funciona por efecto de la inducción electromagnética en un rango de frecuencias muy bajas, trabaja con dos devanados, el devanado primario se encarga de transmitir una señal sinusoidal al

medio circundante y el secundario genera una señal sinusoidal por efecto del campo inducido por el primario. Cuando el detector VLF se aproxima a un objeto metálico, el campo magnético cambia y genera una señal en el devanado secundario.

## **2.3 MARCO DE ANTECEDENTES**

Desde años anteriores a la humanidad le ha interesado el estudio de sensores en la detección de metales, pero no tenía bases teóricas necesarias para iniciar dichos estudios ni un instrumento confiable con que realizar pruebas, solo cuando se logró obtener el detector por inducción electromagnética generando grandes avances en el tema. Varios autores han desarrollado métodos de manera experimental y teórica a través de criterios y características acerca de la detección de metales. Gracias a estos estudios existen trabajos de tratamiento de las señales generadas por estos sensores, obteniendo información específica del tipo de metal que se detecta, la profundidad y posición.

### **2.3.1 Trabajos investigativos en la clasificación de objetos metálicos**

Trabajos de investigación enfocados a la detección y clasificación de metales son los desarrollados por Ping Gao y Leslie Collins [7], acompañados de proyectos de modelamiento de señales estáticas y electromagnéticas aplicadas. Inicialmente el objeto es detectado por medio de un sensor de dominio en frecuencia (VLF) y se procede a clasificarlo dentro de diferentes tipos de metal. Con base en la respuesta del sensor se construye un sistema de clasificación basado en el modelo de predicción probabilístico bayesiano (en este modelo se ingresan las probabilidades de las variables significativas para clasificar el objeto dentro de los

grupos posibles). Los resultados de estos estudios demuestran que el detector puede discriminar entre diferentes tipos de metal. Así mismo se puede reducir la alta tasa de falsas alarmas si se aplica este estudio a la detección de minas antipersonales [8].

### **2.3.2 Trabajos de campo en la evaluación de detectores de metales**

Los Estados Unidos uno de los países más interesados en desarrollar pruebas a campo abierto con los detectores de metales y lograr mayor efectividad al momento del desminado humanitario realizó exhaustivas pruebas con siete diferentes detectores de metales, según informe “Handheld Metal Detectors: Nicaraguan Field Test Report”. Cada uno de los siete detectores les fue asignado los siguientes códigos: EB42-2, FOMI-1, MICM-1, MIMI-1, PRMA-2, SCAN-0 y SCNN-0. Se realizaron pruebas con dos tipos de suelo, con características diferentes de textura y color, se incluyeron objetos enterrados en profundidades de 10 cm a 25 cm, los resultados muestran que, mientras algunos detectores fueron más efectivos que otros, ningún detector solo era capaz de encontrar todos los objetivos en ambos tipos de suelo.

Esto fue interpretado como una indicación de la dificultad de las condiciones y características del suelo para la detección, se evidenció la gran dificultad que presentaba la mayoría de los detectores para identificar blancos pequeños en suelos de alta concentración mineral, además del incremento en el número de falsas alarmas [9].

### **2.3.3 Proyecto SCAN I**

El grupo de investigación SIRP (Sistemas Inteligentes, Robótica y Percepción) de la Universidad Javeriana, desarrollo el proyecto SCAN I, donde se implementó una plataforma robótica móvil terrestre llamada “Úrsula” y una estación remota, su objetivo principal es la detección y localización de minas antipersonales. La plataforma robótica, puede localizar minas antipersonales a partir de un nivel de detección establecido, haciendo uso de un detector de metales y siendo controlada a distancia. El sensor no discrimina metales, su prioridad es el control y desplazamiento en diversos tipos de suelo estableciendo un punto de referencia desde el cual detectar [10]

## **2.4 MARCO LEGAL**

### **2.4.1 Ley 142 de 1994**

Ley que en la actualidad regula la prestación del servicio de aseo en Colombia, entendiéndose por ésta «la acción y efecto de recoger y retirar los residuos sólidos de uno o varios generadores efectuada por la persona prestadora del servicio» (Art. 1, decreto 1713/02).

### **2.4.2 Ley 632 de 2000**

Esta Ley aborda el tema de los esquemas de prestación del servicio de aseo, y pregona un esquema de libre competencia y concurrencia de operadores para la prestación del servicio a los grandes generadores; al tiempo que incentiva a los municipios y distritos para asegurar la prestación del servicio.

### **2.4.3 Ley 689 de 2001**

Ley que nuevamente modificó la definición de servicio público de aseo contenido en el artículo 14.24 de la Ley 142/94, o mejor simplemente conservó o ratificó los cambios introducidos por la Ley 632/2000.

### **2.4.4 Resolución CRA 151 de 2001**

La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico expidió la Resolución Integral de los servicios públicos domiciliarios, la cual consagra las normas especiales para el servicio de aseo, los aspectos tarifarios del mismo y fija la metodología para el cálculo de las tarifas máximas.

### **2.4.5 Decreto 891 de 2002**

La dinámica normativa del servicio de aseo alcanzó un punto de impulso destacado a partir de la expedición del decreto 891 de 2002, proferido por el Ministerio de Desarrollo Económico, que se ocupó de reglamentar lo atinente a las previsiones del artículo 9 de la Ley 632 de 2000, concretamente, el tema de los requisitos y procedimientos para el otorgamiento de las áreas de servicio exclusivo por parte de los municipios y distritos para asegurar la prestación eficiente del servicio de aseo a todos sus habitantes.

### **2.4.6 Decreto 1713 de 2002**

Finalmente, la idea de imprimirle un nuevo formato a la prestación del servicio de aseo se ve materializada con la expedición del decreto 1713 del 6 de agosto de 2002, « por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689/2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos», que por su condiciones particulares deben pasar a ser categorizados como servicio especial de aseo [11].

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS**

### **3.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Con el diseño de un dispositivo electrónico para detectar metales pesados que se encuentren entre los residuos sólidos depositados en el Relleno Sanitario La Glorita se logrará contribuir con el mejoramiento de la polución ambiental, los daños en la agricultura y en la salud humana?

### **3.2 VARIABLES**

Las variables que pueden afectar la realización del proyecto son:

- Los niveles de producción de metales pesados en los países productores.
- La disminución y aumento de la demanda de metales pesados en Colombia.
- El nivel de producción de bienes fabricados con metales pesados.
- El precio de los metales.
- La oferta de cada tipo de metal.
- Cantidad de empresas clientes del Relleno Sanitario La Glorita.
- Número de toneladas de residuos sólidos depositadas mensualmente en el relleno sanitario.
- Precio por tonelada de residuos sólidos depositada en el relleno sanitario.

### **3.3 TIPO DE ESTUDIO**

Según la metodología a utilizar, se realizará una investigación deductiva de tipo descriptiva puesto que se parte de una necesidad - problema y unos objetivos que son claramente definidos por el investigador. Se describe información de los metales pesados (estudio de caso) y con base en ella, se desarrolla la propuesta de diseño.

Se utilizarán técnicas estadísticas debidamente estructuradas para la recolección y el análisis de la información. Partiendo de tal punto, específicamente se llevará a cabo una investigación de caso donde se investigará a fondo sobre un grupo definido por todas las empresas clientes del Relleno Sanitario La Glorita de la ciudad de Pereira.

Los datos que se obtendrán se relacionarán con el estado actual de la población en estudio, al utilizar este tipo de investigación se espera explorar sobre el diseño electrónico, de tal manera que se puedan aclarar conceptos y variables planteadas y determinar la manera de mediarlas.

### **3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

Inicialmente se realizará una prueba piloto en dos empresas clientes del Relleno Sanitario. Estas empresas no entran a formar parte de la muestra poblacional, pues en ellas se indagará sobre las categorías del estudio: Depósito de residuos sólidos, importancia del reciclaje, descontaminación, entre otras, con los resultados obtenidos se elaborará la encuesta oficial.

Logísticamente, se contará con dos ayudantes para la aplicación de la encuesta en la población muestral, de tal manera que se asegure la objetividad del proceso.



## **3.5 FUENTES DE INFORMACIÓN**

### **3.5.1 Primarias**

Como fuentes primarias de información se tendrá el contacto con los gerentes de cada empresa cliente del Relleno Sanitario de Pereira responsables del envío de los residuos sólidos industrial y/o comercial hasta los Vasos No. 5 y No.6 de La Glorita.

### **3.5.2 Secundarias**

Empresa de Aseo de Pereira S.A. ESP, CARDER, ATESA de Occidente S.A. ESP, DANE y Sitios web.

## **3.6 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Con base en las encuestas realizadas, se obtendrá información que se organizará y sistematizará ordenadamente para presentarla de tres maneras diferentes: Tabla de Datos que constará de un ítem, cantidad y participación frente al total de empresas clientes en análisis, Gráfico Estadístico de Datos y la respectiva explicación del resultado obtenido.

### **3.6.1 Población**

La población escogida para realizar el estudio metodológico requerido está representada por las empresas clientes del Relleno Sanitario de Pereira y que depositan residuos sólidos en los Vasos No. 5 y No.6 de La Glorita.

### 3.6.2 Muestra

El tamaño de la muestra requerida para elaborar el estudio metodológico será hallado por Muestreo Aleatorio Simple, puesto que cuantifica los clientes, es ciego y aleatorio a la hora de seleccionar elementos de las muestras finales y no requiere un conocimiento elevado de la población a estudiar y permite interferencias estadísticas.

Convenciones utilizadas:

z: Nivel de confianza = 95%

S: Desviación estándar según nivel de confianza = 1,96

P: Posibilidad de éxito = 50%

Q: Posibilidad de fracaso = 50%

e: Margen de error = 5%

N: Población = 40

n: Tamaño de la muestra

Estadísticamente se utilizó un nivel de confianza del 95%, lo cual refleja un margen de error del 5% en cada uno de los análisis y para tal calificación se encuentra en las tablas una desviación estándar de 1,96. Las posibilidades de fracaso o de éxito cuentan con un mismo porcentaje de participación es decir, la probabilidad de tener éxito con el proyecto es igual a la de obtener un fracaso. Teniendo en cuenta los datos mencionados anteriormente se halla el tamaño de la muestra como se observa en la ecuación (4):

$$\text{Ec. (4)} \quad n = \frac{S^2 \times P \times Q \times N}{(e^2 \times (N - 1)) + (S^2 \times P \times Q)}$$

$$n = \frac{38,4160}{1,0579} = 36,31 \approx 36$$

El tamaño de la muestra requerida para llevar a cabo el estudio es de 36 Empresas clientes del Relleno Sanitario [12], partiendo de una población total de 40 Empresas clientes.

### 3.7 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Las fases que se llevarán a cabo durante la realización del presente trabajo de grado, se detallan a continuación:

1. Revisión Bibliográfica.
2. Diseño de un dispositivo de detección de metales pesados en la disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Pereira.
3. Análisis de la factibilidad en la implementación del dispositivo de detección de metales pesados en el Relleno Sanitario La Glorita de la ciudad de Pereira.
4. Determinación del equipo electrónico y software necesario para la implementación del dispositivo de detección.
5. Pruebas del equipo electrónico y software.
6. Análisis y discusión de los resultados.

## **CAPÍTULO IV. SITUACIÓN ACTUAL DEL SERVICIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS EN LAS EMPRESAS CLIENTES DEL RELLENO SANITARIO**

### **4.1 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Con el objetivo de obtener y analizar detenidamente la información requerida para determinar la importancia del dispositivo de detección de metales pesados en la disposición final de los residuos sólidos para las empresas clientes del relleno Sanitario La Glorita, se utilizó el método de la encuesta. Para el estudio se dividió el número de encuestas entre el grupo de encuestadores quienes se encargaron se realizar personalmente las 36 encuestas en cada una de las entidades que formaron parte de la muestra.

Las encuestas fueron resueltas por el gerente, administrador o por el encargado del área de Gestión Ambiental de las empresas.

- Parámetros de la encuesta
  - La encuesta fue diseñada de tal manera que fuera sencilla, concreta y concisa para recolectar más fácilmente la información requerida en el estudio.
  - La encuesta cuenta con introducción y objetivo general que permite dar a conocer a los empleados de las empresas encuestadas su finalidad.

- Temas de la Encuesta

Las preguntas hechas en la encuesta se enfocan específicamente a los siguientes temas:

- Tiempo como cliente.
- Cantidad de residuos sólidos mensuales.
- Importancia del reciclaje.
- Conocimiento de metales pesados.
- Manejo de los metales pesados.
- Aceptación de dispositivos de detección de metales pesados.
- Reciclaje de metales pesados, entre otros.

## **4.2 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

La gestión de los residuos sólidos es una disciplina asociada al control de la reducción en el origen y evacuación de los residuos sólidos de una forma que armonice con los principios de la salud pública, la conservación del medio ambiente y del paisaje en condiciones económicamente viables.

### **4.2.1 Tabulación y Gráfico de la información**

Con base en las encuestas sobre la importancia del dispositivo de detección de metales pesados en la disposición final de los residuos sólidos en el Relleno Sanitario La Glorita de la ciudad de Pereira y para las empresas que formaron parte de la muestra poblacional, se obtuvo la información requerida para ser procesada, analizada y determinar así, las conclusiones respectivas del estudio.

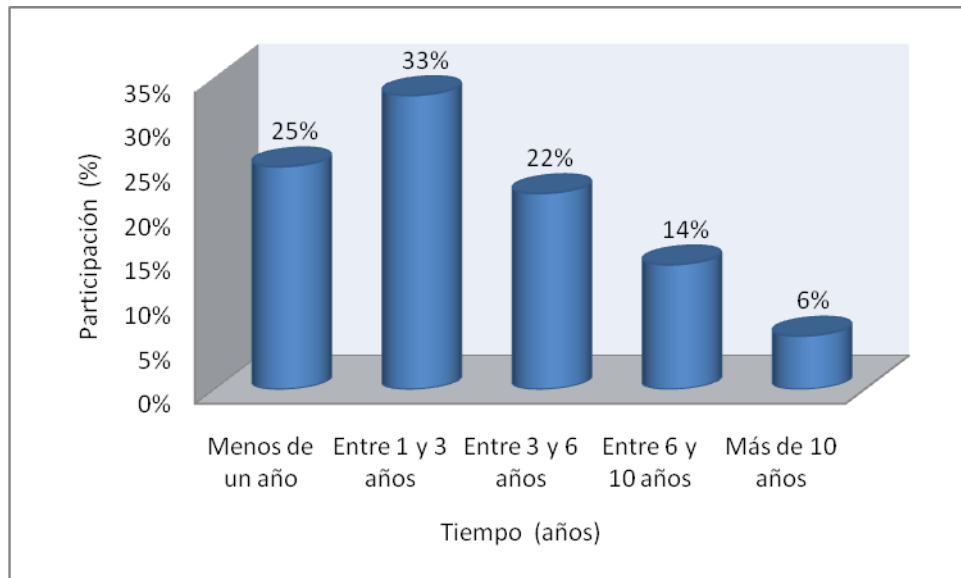
¿Qué tiempo lleva como cliente del Relleno Sanitario La Glorita?

Tabla No. 1. Tiempo como Cliente.

OPINIÓN	NÚMERO DE EMPRESAS	PARTICIPACIÓN (%)
Menos de un año	9	25%
Entre 1 y 3 años	12	33%
Entre 3 y 6 años	8	22%
Entre 6 y 10 años	5	14%
Más de 10 años	2	6%
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>	<b>100%</b>

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 5. Tiempo como Cliente.



Fuente: El Autor.

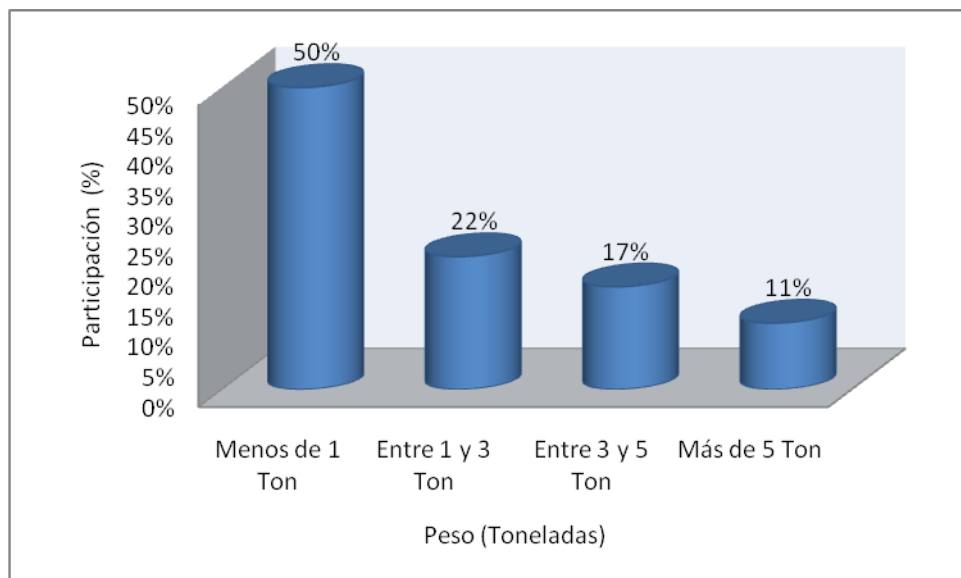
¿Qué cantidad de residuos sólidos deposita en el Relleno Sanitario mensualmente?

Tabla No. 2. Cantidad de residuos sólidos depositados.

OPINIÓN	NÚMERO DE EMPRESAS	PARTICIPACIÓN (%)
Menos de 1 Ton	18	50%
Entre 1 y 3 Ton	8	22%
Entre 3 y 5 Ton	6	17%
Más de 5 Ton	4	11%
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>	<b>100%</b>

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 6. Cantidad de residuos sólidos depositados.



Fuente: El Autor.

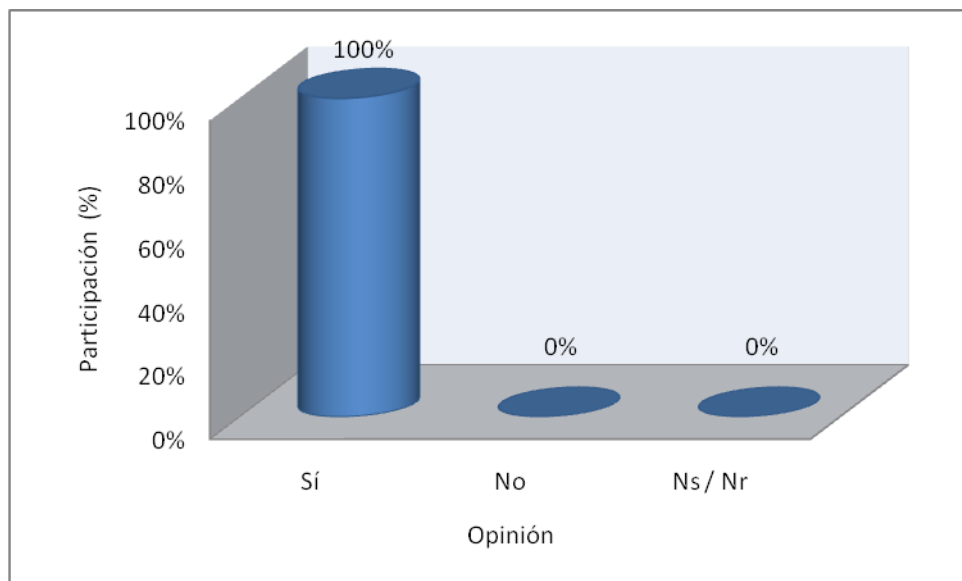
¿Considera que el reciclaje es un factor de suma importancia para el cuidado del medio ambiente?

Tabla No. 3. Importancia del reciclaje.

OPINIÓN	NÚMERO DE EMPRESAS	PARTICIPACIÓN (%)
<b>Sí</b>	36	100%
<b>No</b>	0	0%
<b>Ns / Nr</b>	0	0%
<b>TOTAL</b>	36	100%

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 7. Importancia del reciclaje.



Fuente: El Autor.



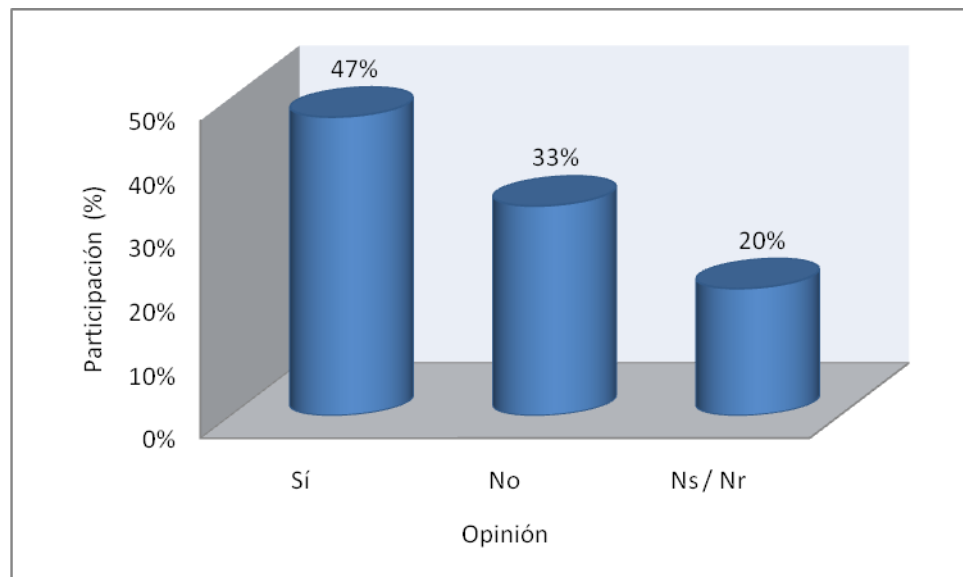
¿Sabe qué son los metales pesados?

Tabla No. 4. Conocimiento de los metales pesados.

OPINIÓN	NÚMERO DE EMPRESAS	PARTICIPACIÓN (%)
<b>Sí</b>	17	47%
<b>No</b>	12	33%
<b>Ns / Nr</b>	7	20%
<b>TOTAL</b>	36	100%

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 8. Conocimiento de los metales pesados.



Fuente: El Autor.

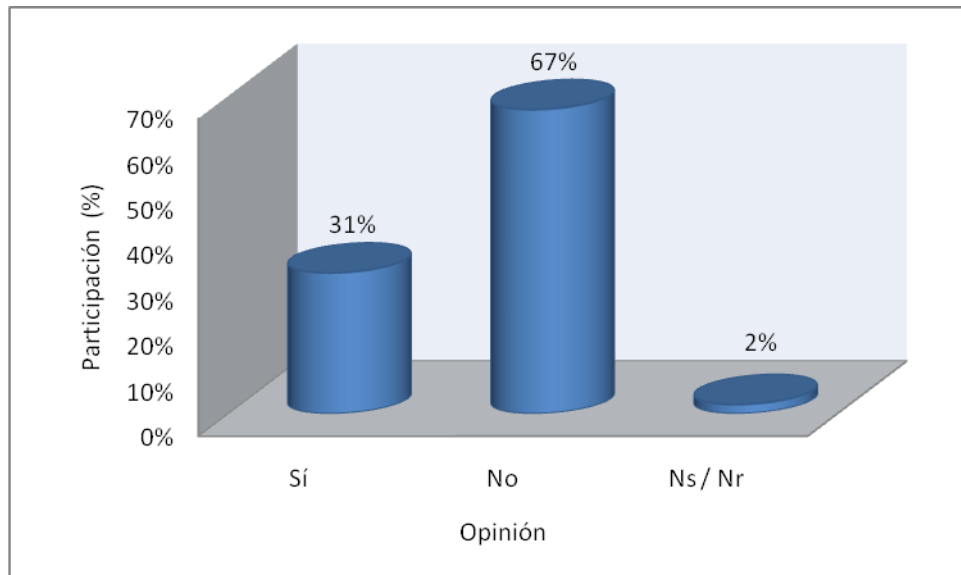
¿Tiene conocimiento sobre la presencia de metales pesados en los residuos sólidos industriales?

Tabla No. 5. Presencia de metales pesados en los residuos sólidos.

OPINIÓN	NÚMERO DE EMPRESAS	PARTICIPACIÓN (%)
Sí	11	31%
No	24	67%
Ns / Nr	1	2%
TOTAL	36	100%

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 9. Presencia de metales pesados en los residuos sólidos.



Fuente: El Autor.

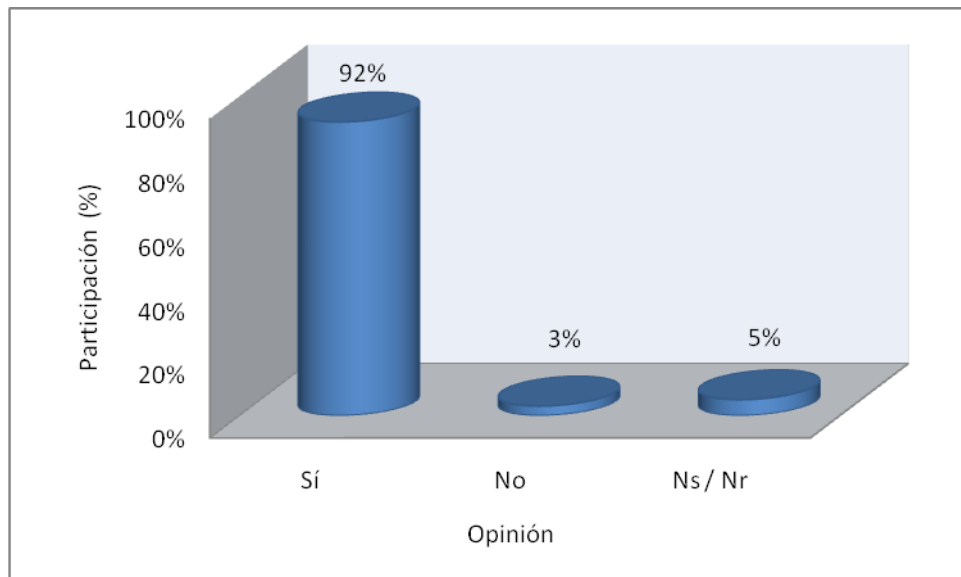
¿Considera que en el Relleno Sanitario La Glorita se está realizando un correcto manejo de los residuos sólidos industriales?

Tabla No. 6. Manejo de residuos sólidos por parte del Relleno Sanitario.

OPINIÓN	NÚMERO DE EMPRESAS	PARTICIPACIÓN (%)
<b>Sí</b>	33	92%
<b>No</b>	1	3%
<b>Ns / Nr</b>	2	5%
<b>TOTAL</b>	36	100%

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 10. Manejo de residuos sólidos por parte del Relleno Sanitario.



Fuente: El Autor.

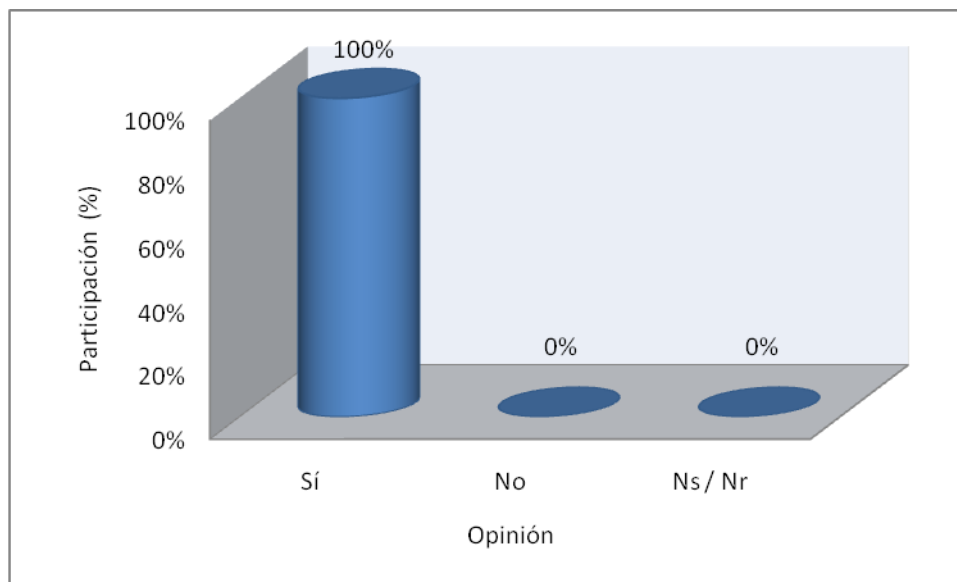
¿Está de acuerdo con el reciclaje de los metales pesados presentes en los residuos sólidos industriales depositados en el Relleno Sanitario La Glorita?

Tabla No. 7. Reciclaje de metales pesados.

OPINIÓN	NÚMERO DE EMPRESAS	PARTICIPACIÓN (%)
<b>Sí</b>	36	100%
<b>No</b>	0	0%
<b>Ns / Nr</b>	0	0%
<b>TOTAL</b>	36	100%

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 11. Reciclaje de metales pesados.



Fuente: El Autor.

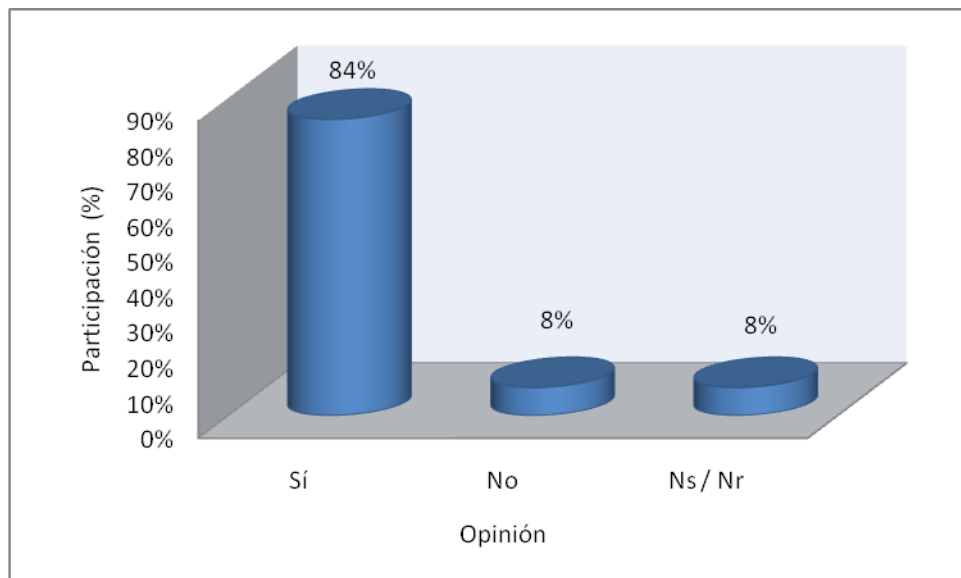
¿Tiene conocimiento sobre la importancia de los dispositivos de detección de metales pesados?

Tabla No. 8. Importancia de los dispositivos de detección de metales pesados.

<b>OPINIÓN</b>	<b>NÚMERO DE EMPRESAS</b>	<b>PARTICIPACIÓN (%)</b>
<b>Sí</b>	30	84%
<b>No</b>	3	8%
<b>Ns / Nr</b>	3	8%
<b>TOTAL</b>	36	100%

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 12. Importancia de los dispositivos de detección de metales.



Fuente: El Autor.

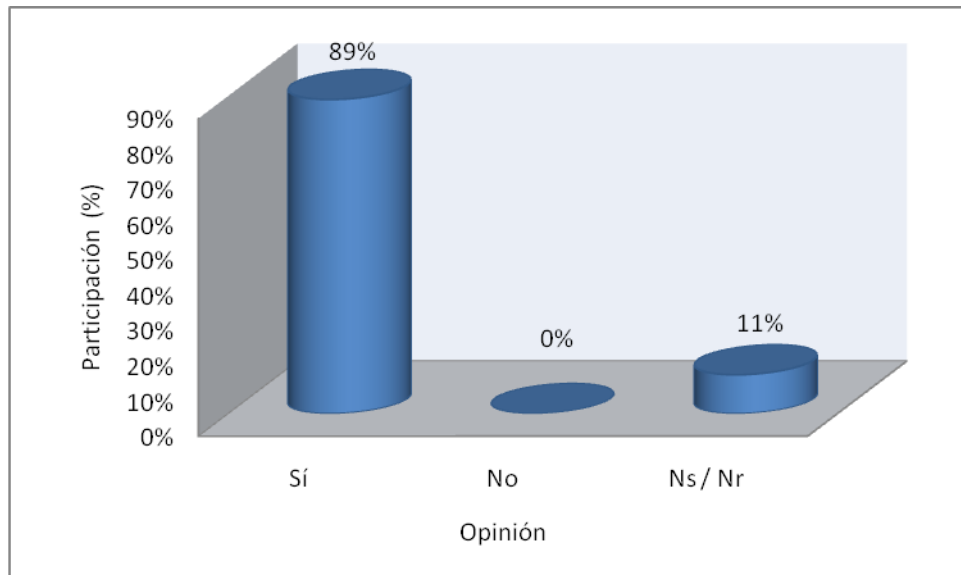
¿Estaría de acuerdo con que se adquirieran dispositivos de detección de metales pesados para ser usados en la disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Pereira?

Tabla No. 9. Uso del dispositivos en la disposición final de residuos sólidos.

OPINIÓN	NÚMERO DE EMPRESAS	PARTICIPACIÓN (%)
Sí	32	89%
No	0	0%
Ns / Nr	4	11%
TOTAL	36	100%

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 13. Uso del dispositivos en la disposición final de residuos sólidos.



Fuente: El Autor.

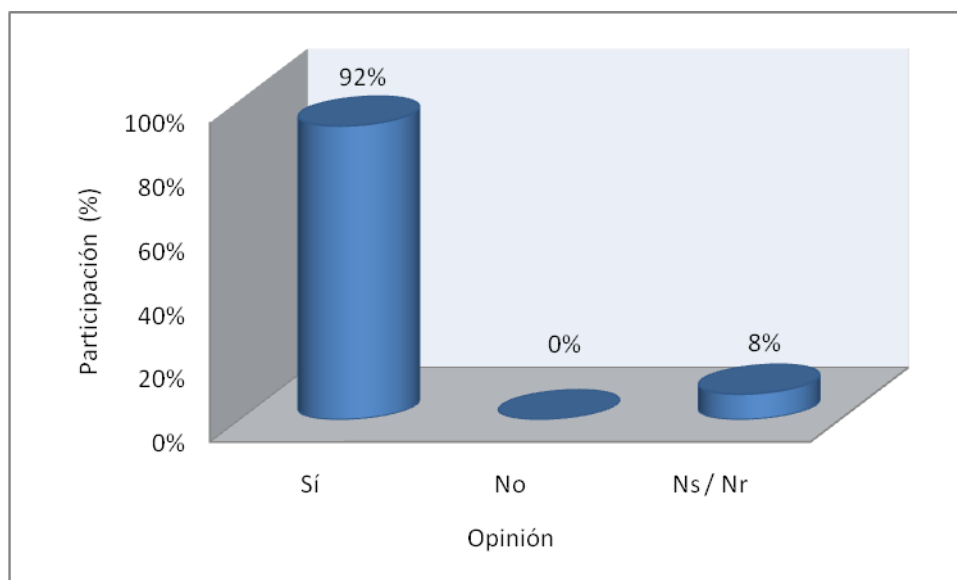
¿Considera que al detectar y reciclar los metales pesados en el Relleno Sanitario, se mejorará la salud humana y el medio ambiente en la ciudad de Pereira?

Tabla No. 10. Beneficios del reciclaje de metales pesados.

OPINIÓN	NÚMERO DE EMPRESAS	PARTICIPACIÓN (%)
Sí	33	92%
No	0	0%
Ns / Nr	3	8%
TOTAL	36	100%

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 14. Beneficios del reciclaje de metales pesados.



Fuente: El Autor.

#### 4.2.2 Conclusiones de la Encuesta

- El 25% de las empresas son clientes del relleno sanitario Glorita hace menos de 1 año, el 33% entre 1 y 3 años; el 22% entre 3 y 6 años, el 14% entre 6 y 10 años; y únicamente el 6% es cliente hace más de 10 años.
- Cuando se les preguntó sobre la cantidad de residuos sólidos depositados por la empresa mensualmente, el 50% expresó que menos de 1 tonelada, el 22% entre 1 y 3 ton; el 17% dijo que entre 3 y 5 ton y el restante 11% afirmó que más de 5 toneladas al mes.
- Al preguntar sobre si consideran que el reciclaje es un factor de suma importancia para el cuidado del medio ambiente, el 100% de las empresas expresó que si lo consideran, demostrando el grado de compromiso con el mejoramiento del ambiente natural.
- En cuanto a la pregunta sobre el conocimiento de los metales pesados, el 47% expresó que si conoce sobre ellos, el 33% no tiene conocimiento y el 20% de las empresas clientes no respondió a esta pregunta.
- Sobre la presencia de metales pesados en los residuos sólidos industriales, el 31% expresó que es consciente de este riesgo, el 67% no tiene conocimiento al respecto y el 2% no respondió.
- A la inquietud sobre si consideran que en el Relleno Sanitario La Glorita se está realizando un correcto manejo de los residuos sólidos industriales, el 92% dijo que si, el 3% considera que no y el restante 5% no sabe o no responde esta pregunta.



- Sobre la inquietud de que si la empresa está de acuerdo con el reciclaje de los metales pesados presentes en los residuos sólidos industriales depositados en el Relleno Sanitario La Glorita, el 100% de las ellas considera que si está de acuerdo.
- El 84% de las empresas considera importante el uso de los dispositivos de detección de metales pesados, el 8% considera que no son importantes dichos dispositivos y el 8% de las empresas no respondió a este interrogante.
- El 89% de las empresas están de acuerdo con que se adquirieran dispositivos de detección de metales pesados para ser usados en la disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Pereira, el restante 11% no sabe o no responde a esta pregunta.
- El 92% de las empresas clientes sostienen que al detectar y reciclar los metales pesados en el Relleno Sanitario, se mejorará la salud humana y el medio ambiente en la ciudad de Pereira, mientras que el 8% no sabe o no responde a esta pregunta.

## CAPÍTULO V. ESPECIFICACIONES

### 5.1 PARÁMETROS DEL DETECTOR DE METALES

Para la construcción del bobinado primario y secundario del detector de metales se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla No. 11. Parámetros del detector de metales.

Parámetros	Bobinado Primario	Bobinado Secundario
Inductancia L ( $\mu\text{H}$ )	380 $\mu\text{H}$	380 $\mu\text{H}$
Número de vueltas	28	28
Calibre	31 AWG	31 AWG
Radio (cm) Eje Vertical	9 cm	9 cm
Radio (cm) Eje Horizontal	5 cm	5 cm

Fuente: El Autor.

### 5.2 ESPECIFICACIONES DEL HARDWARE

Se diseñó y construyó un dispositivo capaz de generar las señales necesarias para detectar y discriminar metales, recoger la información de la señal inducida, procesarla y trasmitirla. Las especificaciones del hardware se presentan en la siguiente tabla:

Tabla No. 12. Especificaciones del Hardware.

Parámetros	Valor Típico
Voltaje de alimentación (v)	+12 v $\overline{\text{---}}$
Corriente de entrada (A)	10 A
Frecuencia de Cristal (Hz)	20 MHz
Frecuencia de trabajo del Microcontrolador PIC 18F2550 (Hz)	48 MHz
Velocidad de Transmisión (bps)	9600 bps
Modos de operación	VLF y PI

Fuente: El Autor.

### 5.3 SOFTWARE IMPLEMENTADO

El software implementado permite acelerar el desarrollo del sistema a través de la programación gráfica intuitiva y la integración de hardware. El diseño de sistemas de ingeniería proporciona un software integrado y una plataforma de hardware que acelera el desarrollo del sistema de medición y control. Las funciones se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla No. 13. Software implementado.

Programa	Función
Proteus 7 Profesional	Diseño del circuito del Detector de Metales
CCS PIC C Compiler	Programación del Microcontrolador PIC 18F2550
Labview 8,5	Interfaz gráfica Usuario - Detector de Metales

Fuente: El Autor.

## 5.4 REQUERIMIENTOS DEL SOFTWARE

El software se desarrolló en el sistema operativo Windows 7, por lo que los requerimientos del sistema son los mismos que los de estas plataformas. Las especificaciones se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla No. 14. Requerimientos del software.

Parámetros	Utilizado
Sistema Operativo	Windows 7 Profesional de 32 bits
Procesador	Pentium (R) Dual-Core 2,10 GHz
Memoria RAM	2 GB
Capacidad de disco duro	240 GB
Capacidad en disco duro para Labview 8.5	543 MB
Capacidad en disco duro para Proteus 7 Profesional	310 MB
Capacidad en disco duro para CCS PIC C Compiler	52,2 MB

Fuente: El Autor.

## 5.5 BLANCOS A DETECTAR

A continuación se listan cada uno de los blancos a detectar por el dispositivo de detección de metales pesados, con sus respectivas dimensiones, calibre y peso.

Tabla No. 15. Blancos a detectar.

Blanco	Metal	Presentación del Metal	Dimensiones (cm)	Espesor		Peso (g)
				Calibre	Milímetro	
Blanco I	Aluminio (Al)	Lámina	20 x 20 cm	19	1,07 mm	70 g
Blanco II	Aluminio (Al)	Lámina	10 x 20 cm	19	1,07 mm	33 g
Blanco III	Aluminio (Al)	7 Latas	12 x 17 cm	19	1,07 mm	112 g
Blanco IV	Cobre (Cu)	Lámina	20 x 20 cm	31	0,27 mm	72 g
Blanco V	Cobre (Cu)	Lámina	10 x 20 cm	31	0,27 mm	34 g
Blanco VI	Hierro (Fe)	Lámina	20 x 20 cm	11	3,05 mm	778 g
Blanco VII	Hierro (Fe)	Lámina	10 x 20 cm	11	3,05 mm	349 g
Blanco VIII	Plomo (Pb)	Lámina	20 x 20 cm	11	3,05 mm	1281 g
Blanco IX	Plomo (Pb)	Lámina	10 x 20 cm	11	3,05 mm	612 g

Fuente: El Autor.

## CAPÍTULO VI. DESARROLLO

### 6.1 CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO DE DETECCIÓN DE METALES

El detector de metales se construyó en varias etapas permitiendo un desarrollo organizado del detector, inicialmente se fabricó la bobina de inducción y recepción con varias características y diferentes formas de las bobinas para inducir campo magnético y recibir la información del campo magnético de respuesta de los metales, la segunda etapa se basó en diseñar el hardware del dispositivo a través del programa proteus 7, donde se implementan dos tipos de tecnologías VLF y PI para la detección y discriminación de metales a través de los datos obtenidos de la amplitud y desfase de la señal.

La tercera etapa radicó en la programación del microcontrolador PIC 18F2550, con el programa CCS PIC C Compiler donde se controla el circuito, el modo de detección utilizado y la información procedente de las señales del campo magnético inducido y recepcionado por las bobinas del detector. Posteriormente la cuarta etapa fue el desarrollo del software de la interfaz gráfica entre el usuario y el detector, con lo cual fue necesario implementar Labview 8.5 donde se tiene un control gráfico e información visual del detector de metales.

Finalmente con la quinta etapa se procede al montaje y construcción del circuito físico, aislado en una caja de acrílico para protegerlo de posibles daños y una fuente de alimentación acoplada de +12V  $\approx$  / 10A a la conexión de la tarjeta del dispositivo.

### 6.1.1 Construcción de las Bobinas de prueba para el Detector de Metales

En la siguiente tabla 16, se especifican las características del alambre, la forma, el tamaño y número de vueltas que se deben tener presente para el diseño y construcción de las bobinas del detector de metales

Tabla No. 16. Especificaciones para el diseño físico de bobinas de detección.

Tamaño	Forma	Vueltas	Espesor del alambre	Inductancia	Resistencia
Ø 120 mm	Redonda	36	Ø 0,40 mm / 0,14 mm <sup>2</sup>	405 µH	1,9 Ohm
Ø 150 mm	Redonda	31	Ø 0,40 mm / 0,14 mm <sup>2</sup>	394 µH	2,0 Ohm
Ø 175 mm	Redonda	28	Ø 0,40 mm / 0,14 mm <sup>2</sup>	387 µH	2,1 Ohm
Ø 200 mm	Redonda	26	Ø 0,40 mm / 0,14 mm <sup>2</sup>	406 µH	2,2 Ohm
Ø 250 mm	Redonda	22	Ø 0,40 mm / 0,14 mm <sup>2</sup>	380 µH	2,3 Ohm
Ø 300 mm	Redonda	20	Ø 0,50 mm / 0,20 mm <sup>2</sup>	390 µH	1,6 Ohm
Ø 400 mm	Redonda	17	Ø 0,50 mm / 0,20 mm <sup>2</sup>	396 µH	1,8 Ohm
Ø 500 mm	Redonda	15	Ø 0,50 mm / 0,20 mm <sup>2</sup>	400 µH	2,0 Ohm
1,0 x 1,0 m	Cuadrada	10	Ø 0,66 mm / 0,34 mm <sup>2</sup>	406 µH	2,0 Ohm
1,4 x 1,4 m	Cuadrada	8	Ø 0,66 mm / 0,34 mm <sup>2</sup>	387 µH	2,2 Ohm
1,8 x 1,8 m	Cuadrada	7	Ø 0,80 mm / 0,50 mm <sup>2</sup>	398 µH	1,7 Ohm

Fuente: Pulse induction metal detector with DSP [23].

La profundidad de detección máxima teórica de una bobina es cinco veces el diámetro y el tamaño mínimo de un objeto detectado con una bobina es cinco por ciento del diámetro. La inductancia óptima comúnmente aceptada para bobinas de búsqueda para detectores de metales está en el rango de 300 a 500 µH [23].

Se construyeron varias bobinas de prueba como se visualiza en fotografía No. 1, con el fin de identificar cual era la bobina apropiada y cumpliera con el objetivo propuesto que detectara los metales y los discriminara de manera exitosa.

Fotografía No. 1. Bobinas de pruebas del detector.



Fuente: El Autor.

La Bobina A, con 3 circunferencias de igual diámetro cada una de 11 cm, con la bobina transmisora y receptora interpoladas pero con un área de sensibilidad pequeña, no lo suficiente para la discriminación de los metales detectados.

La Bobina B, con dos bobinas, una con diámetro externo de 16 cm y la otra bobina con 11 cm de diámetro interno, aumentando el área de la bobina transmisora pero disminuyendo el espacio de traslape con la bobina receptora generando poca sensibilidad y eficiencia con la discriminación de metales.

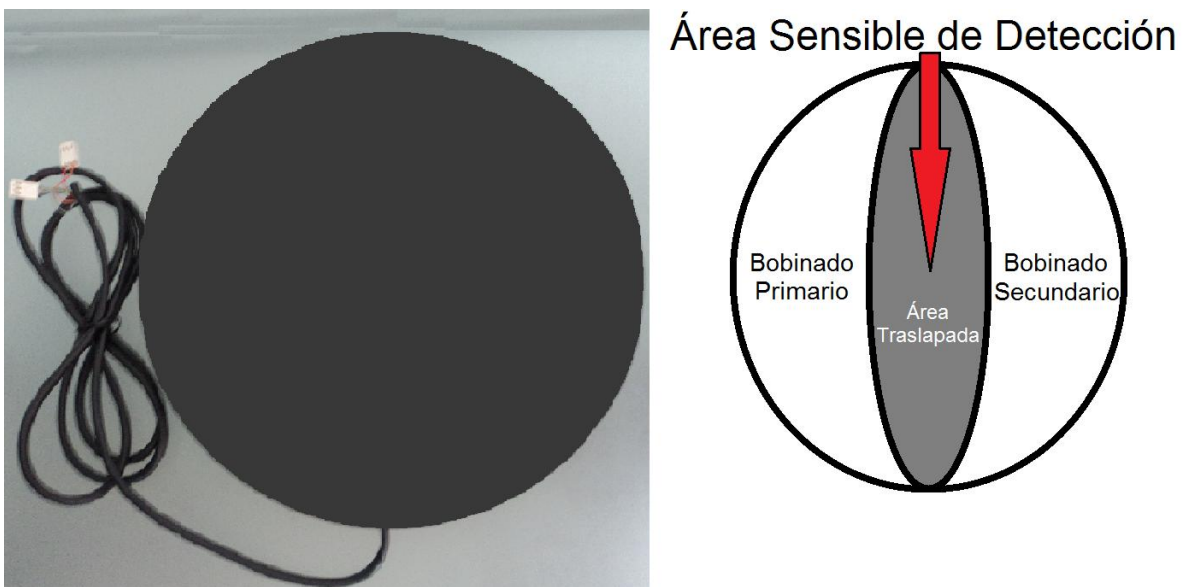
La Bobina C, con una sola bobina con diámetro de 22 cm, cumpliendo la función de emisor y receptor, su desempeño no fue el mejor en cuanto a la detección y discriminación de los objetos metálicos encontrados por la bobina. La Bobina D, modificación de la bobina C, adicionando una segunda bobina en la parte céntrica con un diámetro de 11 cm y cumpliendo ésta la función de recepción del campo magnético del metal encontrado a la respuesta del campo inducido por la bobina externa.

La Bobina E, en forma D utiliza dos bobinas de igual simetría, una de emisor y la otra de receptor con radio de 9 cm, sin una buena área de superposición entre ambas bobinas, limitando su desempeño y sensibilidad al momento de detección y discriminación de los blancos a detectar.

### 6.1.2 Bobina del Detector de Metales

Finalmente se realizan modificaciones a la bobina E para aumentar su sensibilidad y tener un área mayor de superposición de la bobina emisora con la bobina receptora, teniendo un radio de 5 cm en el eje horizontal y 9 cm de radio en el eje vertical, permitiendo la detección de metales y discriminación de cada uno, para un mejor análisis de la información refiérase al fotografía No.2 y tabla No. 11. Parámetros del detector de metales.

Fotografía No. 2. Bobina DD del detector.



Fuente: El Autor.

### 6.2 DISEÑO DEL HARDWARE DE CONTROL

Para el diseño del hardware del detector de metales se utilizó el software Proteus 7 Profesional, y se especifica en dos módulos los cuales son VLF que se basa en la amplitud y desfase para la detección y discriminación de metales; y PI que de



acuerdo al modo de respuesta a la inducción del pulso, detecta si es metal ferromagnético o no ferromagnético.

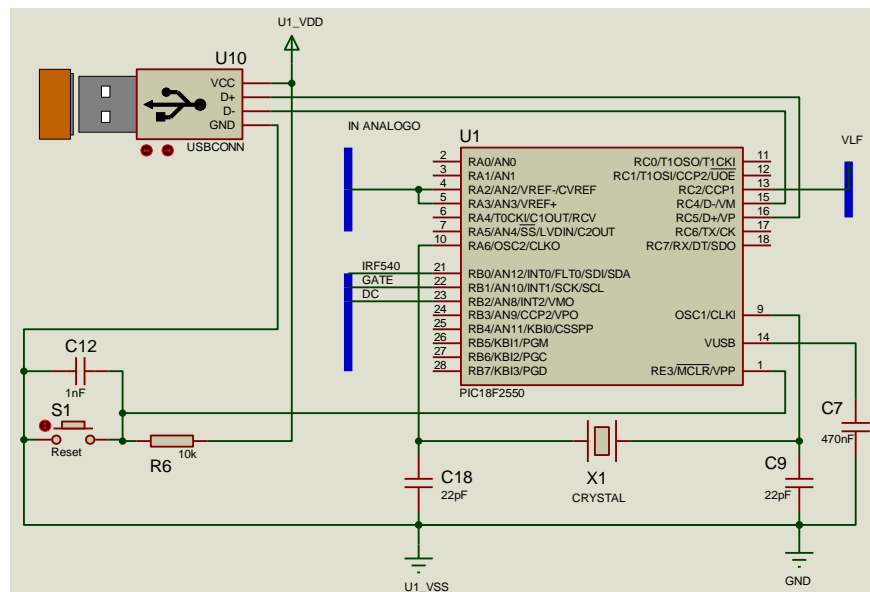
## 6.2.1 Modos de Operación

### 6.2.1.1 Módulo VLF

El Modulo VLF funciona con el PIN 13 del Microcontrolador PIC 18F2550, como se puede observar en el gráfico No. 15, conectando a su vez con la resistencia “R22” de 1 KΩ, que posteriormente va a la base del TIP41 “Q5” transistor NPN y TIP42 “Q6” transistor PNP que son dispositivos complementarios.

A continuación se presenta el Microcontrolador PIC 18F2550:

Gráfico No. 15. Microcontrolador PIC 18F2550.



Fuente: El Autor.

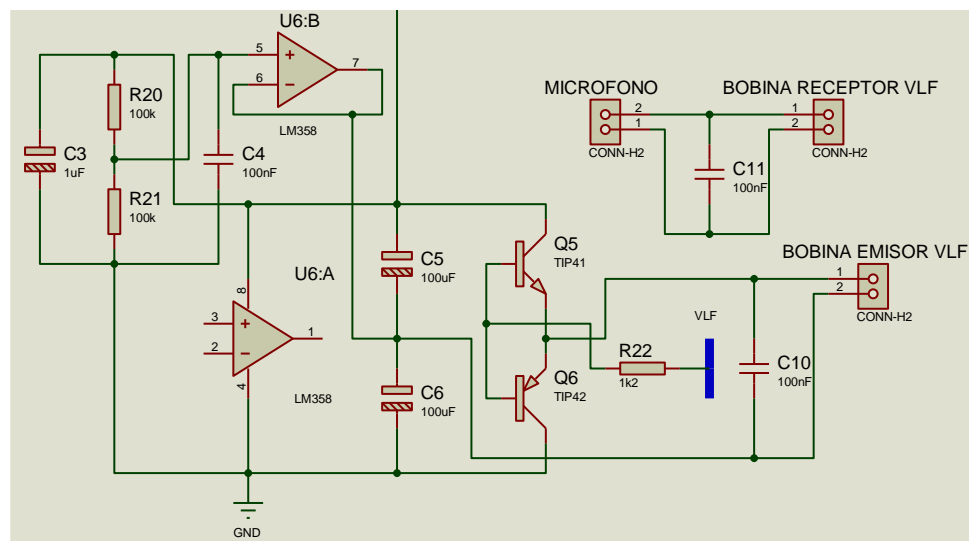
Ver Anexo No. 8. Datasheet de Microcontrolador PIC 18F2550.

La señal PWM excita a través de una onda cuadrada en la base de los dos transistores, los componentes del lado izquierdo del gráfico No. 16 entre los que

se encuentran el amplificador operacional LM358 "U6" permite tener voltajes de +6v y -6v en el colector del TIP41 y TIP42 respecto al punto de referencia de unión de los capacitores "C5" y "C6", los transistores se conmutan y convierten la señal cuadrada en una señal senoide de 5 KHz que sale posteriormente a la bobina emisor VLF.

La señal senoide genera un campo magnético variable en el tiempo que al pasar un metal por la bobina emisor VLF, el metal genera un campo magnético contrario y es leído por la bobina receptor VLF que detecta una señal senoide, la señal se trasmite al computador a través de la conexión del micrófono.

Gráfico No. 16. Módulo VLF.



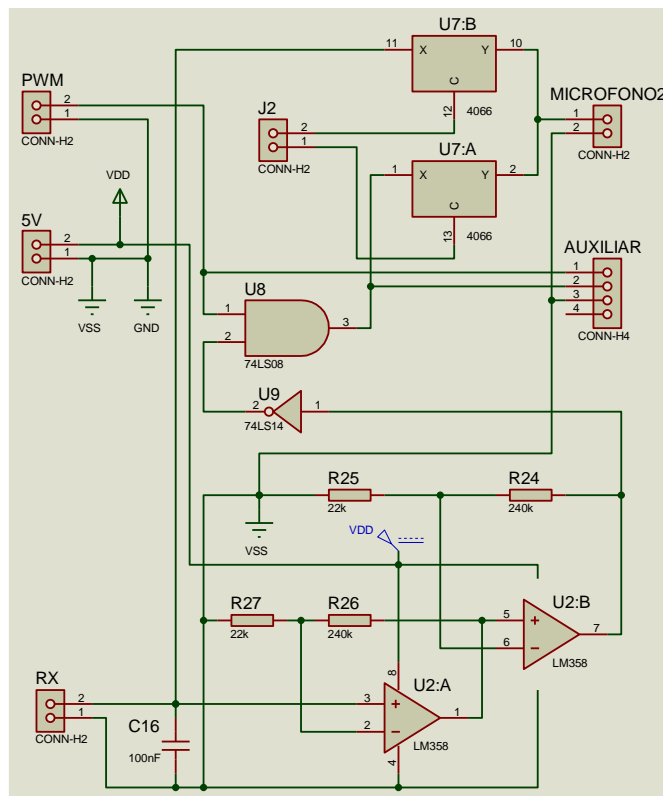
Fuente: El Autor.

La señal senoide de la bobina receptora ingresa a través del conector RX, esta señal es amplificada dos veces por el amplificador operacional LM358 "U2" para recortarla y convertirla en una señal cuadrada, posteriormente ingresa a un schmitt trigger 74LS14 "U9" para eliminar cualquier señal externa como el ruido y dejar la señal más pura.

Luego ingresa dicha señal a la compuerta AND 74LS08 “U8” junto con la señal del PWM, para ser comparadas y como resultado se tiene la señal del PWM si ambas señales de entrada son iguales o el desfase si son diferentes; el resultado es ingresado a un switch análogo “U7:A”.

Ésta entregará una salida ALTA (1), dependiendo de los valores de las entradas, siendo este caso, al recibir solo valores altos en la compuerta AND. La amplitud de la señal receptora es llevada directamente a otro switch análogo “U7: B”, estos dos switch análogos son controlados por el Microcontrolador cuando escribe la letra “A” habilita el switch para dejar pasar la amplitud o “B” para el desfase e ingresa la información a través de la conexión del micrófono, dicha información se puede analizar en el gráfico No.17, donde se muestra el Módulo de Amplitud y Desfase.

Gráfico No. 17. Módulo de amplitud y desfase.



Fuente: El Autor.

La entrada auxiliar se tenía como segunda opción si se presentaban problemas en cuanto se realizaran pruebas físicamente en esta sección del circuito pero debido al buen desempeño no fue necesaria implementarla en la tarjeta.

### **6.2.1.2 Módulo PI**

Para el modulo PI que se describe en el gráfico No. 18, se utilizaron los siguientes pin del microcontrolador PIC 18F2550, pin 21 "RB0" IRF540, pin 22 "RB1" GATE, pin 23 "RB2" DC (ver gráfico No. 15).

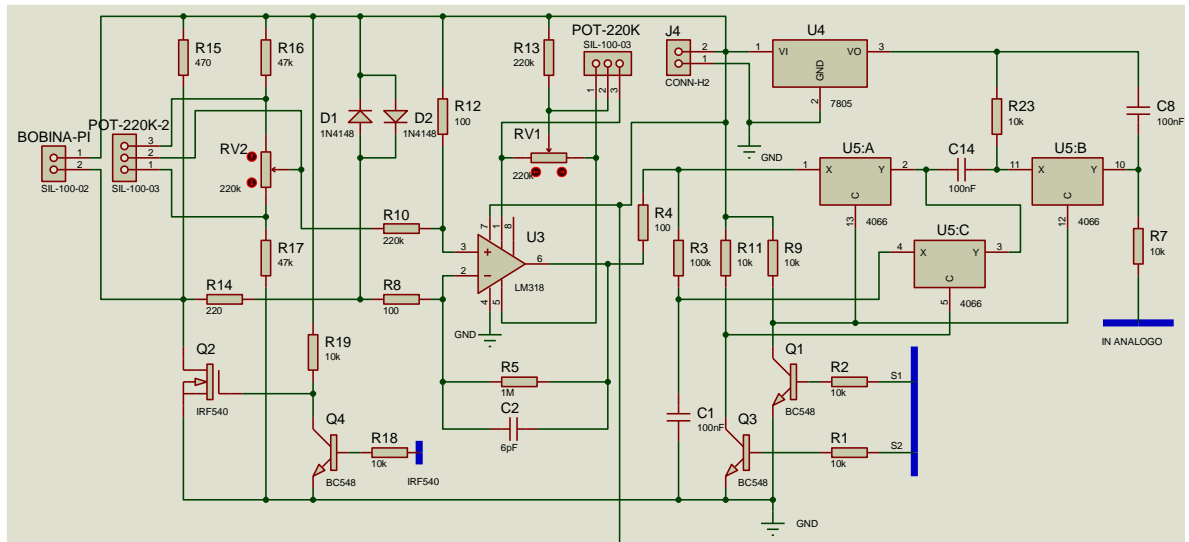
"RB0" IRF540 se utiliza para prender y apagar la bobina, inicialmente se implementó el transistor BC548, pero cuando se realizaron pruebas físicamente se tuvieron varios inconvenientes con dicho transistor por lo cual fue conveniente cambiarlo por un transistor 2N2222, con un 1 lógico es decir con 5V el transistor 2N2222 "Q4" entra en modo corte y se cortocircuita, llevando directamente esa línea a tierra 0V, desactivando el mosfet IRF540 "Q2" de canal N y apagando la bobina PI.

Por el contrario si se tiene un cero lógico 0V, el transistor 2N2222 queda abierto, permitiendo que al mosfet IRF540 le lleguen 12V y pueda soportar hasta 22A, este a su vez se activa y deje pasar corriente a la bobina PI.

Se debe tener presente que si en el sistema no hay comunicación con el microcontrolador, el MOSFET se encuentra activado generando calentamiento del mismo y posible daño.

A continuación se muestra el Módulo PI:

Gráfico No. 18. Módulos PI.

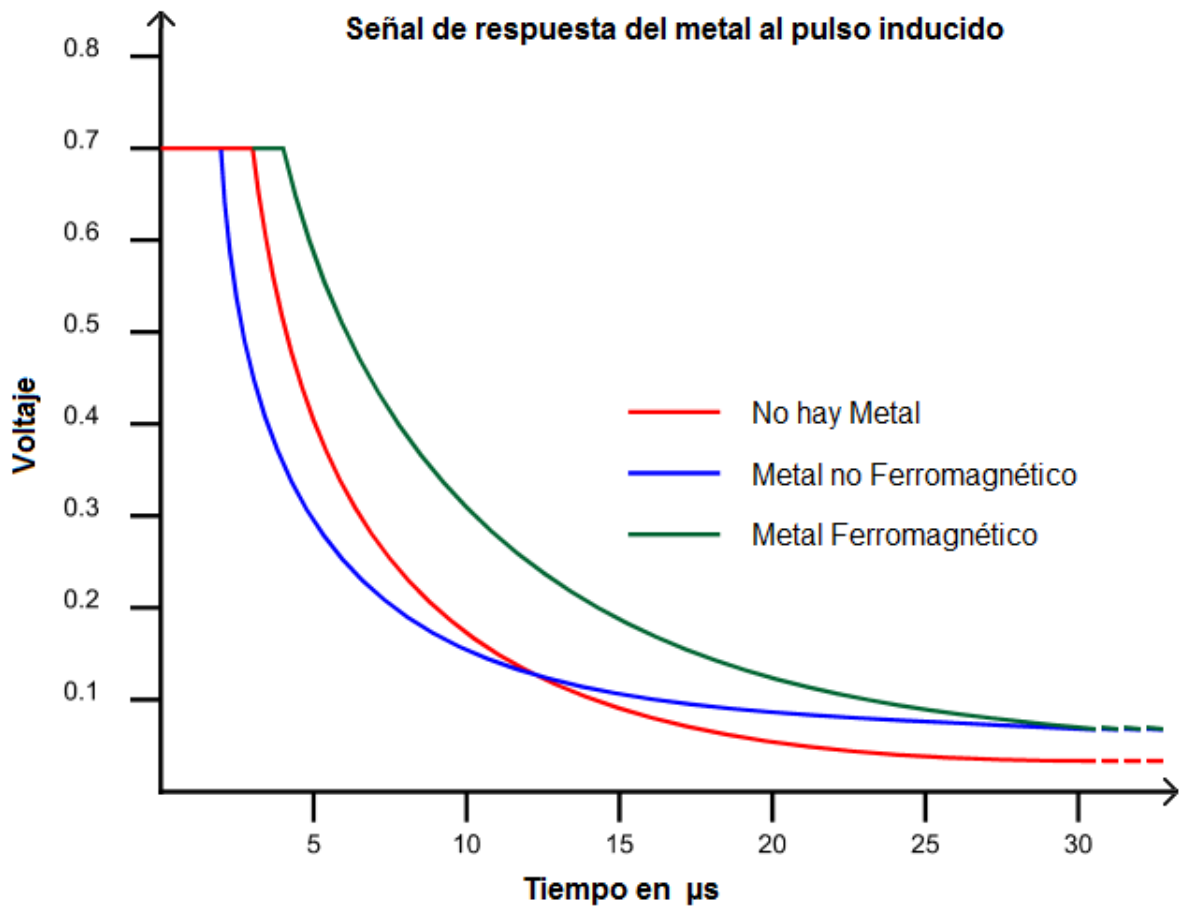


Fuente: El Autor.

Al prender y apagar la bobina PI se genera un pulso de 50  $\mu$ s, y al momento de pasar un metal cerca de la bobina PI, dicho metal genera una respuesta al pulso y de acuerdo a las características de la señal de respuesta del material a los 50  $\mu$ s se obtienen 5 datos y se promedian, para finalmente tener la señal, y determinar si es metal, si es un metal ferromagnético o no ferromagnético de acuerdo a las especificaciones de la curva de la señal de respuesta del metal detectado como se puede verificar en el gráfico No. 19.

El área principal de la discriminación es aproximadamente en los primeros 30 microsegundos de la decadencia de la curva. El tiempo que el sistema se mantiene en el valor de 0,7 volts depende de la cantidad de corriente que fluye a través de la bobina cuando se inicia la descarga.

Gráfico No. 19. Señal de respuesta del metal al pulso inducido.



Fuente: Pulse induction metal detector with DSP [23].

Durante los primeros cinco microsegundos la señal está sujeta por los diodos de protección en el circuito de entrada, después de que la curva decae, el decrecimiento depende de la existencia de un objetivo y la conductividad del mismo. En la parte superior de la curva, metales ferromagnéticos causan un pequeño retardo de la señal disminuyendo por debajo de 0,7 volts, donde los metales no ferrosos inician en un punto de transición un poco antes la disminución de la señal.

Los materiales no ferromagnéticos tales como el aluminio, el cobre y el plomo, tienen una curva empinada y decaen rápidamente a cero. Aproximadamente a 30 microsegundos, la discriminación entre materiales ferromagnéticos y no ferromagnéticos es casi imposible. Mediante el análisis de un número de estas curvas es posible hacer una conjetura sobre el material de un objetivo detectado por el detector de metales de inducción de impulsos [23].

La respuesta del material es una señal variable y oscila, por lo cual es necesario introducir al sistema una resistencia de  $470 \Omega$  "R15" en paralelo a la bobina PI, permitiendo que la señal de respuesta se amortigüe y se estabilice.

La señal de respuesta del metal puede tener voltajes muy altos, lo que es necesario implementar un par de diodos 1N4148 en paralelo "D1" y "D2" de velocidad de conmutación rápida, estabilizando y reduciendo el voltaje a 0.7V para posteriormente llevarlo a un amplificador operacional LM318 "U3" de precisión de alta velocidad con gran ancho de banda de 15 MHz y una alta velocidad de respuesta; después de tener la señal amplificada debe de pasar por una serie de switch análogos. El 4066 "U5" es un switch bilateral, son conmutadores bidireccionales, destinado a la transmisión o multiplexación de señales analógicas o digitales, cualquier entrada analógica puede utilizarse como una salida y viceversa, cada conmutador tiene su propia entrada de control; el tiempo de accionamiento del interruptor es de 15 ns, en la línea de control el interruptor se activa y se desactiva con un uno o cero lógico respectivamente.

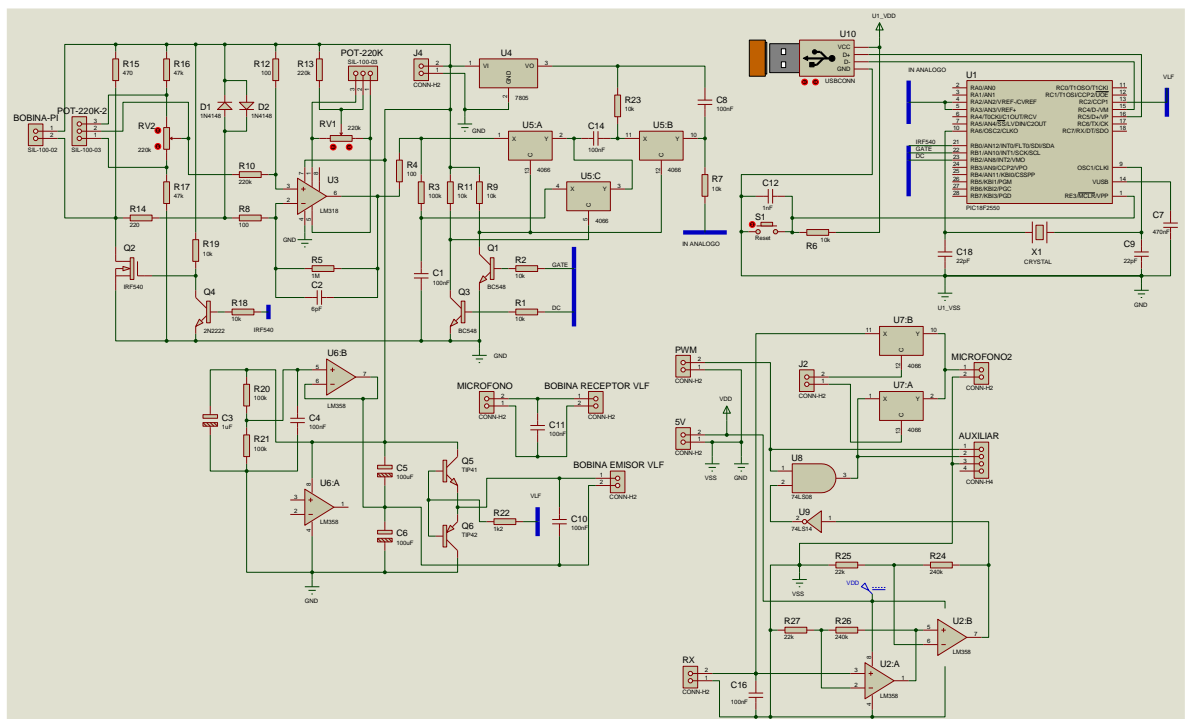
En el microcontrolador el "RB1" es llamado GATE y "RB2" es DC. El GATE es el controlador del switch "U5:A" y "U5:B", y el DC es el controlador del switch "U5:C", inicialmente se pone en alto GATE y DC, cortocircuitando los transistores BC548 "Q1" y "Q3" llevando a cada uno de los 3 controles de los switch a tierra dejándolo abierto, sin permitir la transmisión de la señal. Al apagar el GATE, el transistor "Q1" queda en modo abierto, activando el control del switch "U5: A" y "U5: B",

permitiendo la transmisión de la señal de respuesta del metal que proviene del amplificador “U3 hacia la entrada análoga, leyendo los 5 datos obtenidos y realizando el promedio. Al apagar el DC, el transistor “Q3” queda abierto, activando el switch “U5: C” permitiendo que se cargue el condensador “C1” de 100nf y manteniendo la señal de respuesta sin tener pérdidas al transmitirla.

## 6.2.2 Circuito en Proteus

Después de analizar su funcionamiento de cada una de las secciones del circuito en sus módulos de operación, se presenta el circuito unificado en el gráfico No. 20

Gráfico No. 20. Circuito en Proteus del detector de metales.



Fuente: El Autor.

Ver anexo No. 2. Esquemático del Circuito en Proteus del detector de metales.

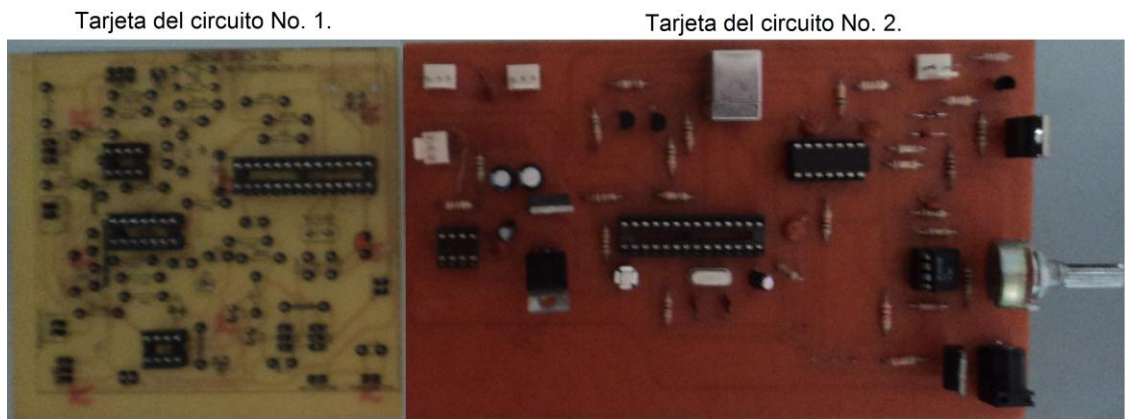


## 6.3 CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO DEL DETECTOR DE METALES

### 6.3.1 Tarjetas del Circuito de prueba para el Detector de Metales

Al detector de metales en la tarjeta del circuito No. 1 como se puede apreciar en la fotografía No. 3, se le realizaron varias modificaciones después de un análisis y estudio para aumentar su mejoría en desempeño y eficiencia, pero aún con la tarjeta del circuito No. 2 sólo se tenía la discriminación a partir de la amplitud, con lo que se tenían varios incidentes con las características de respuesta de cada uno de los metales encontrados no siendo muy preciso con el metal detectado.

Fotografía No. 3. Tarjetas del circuito de Prueba para el detector.



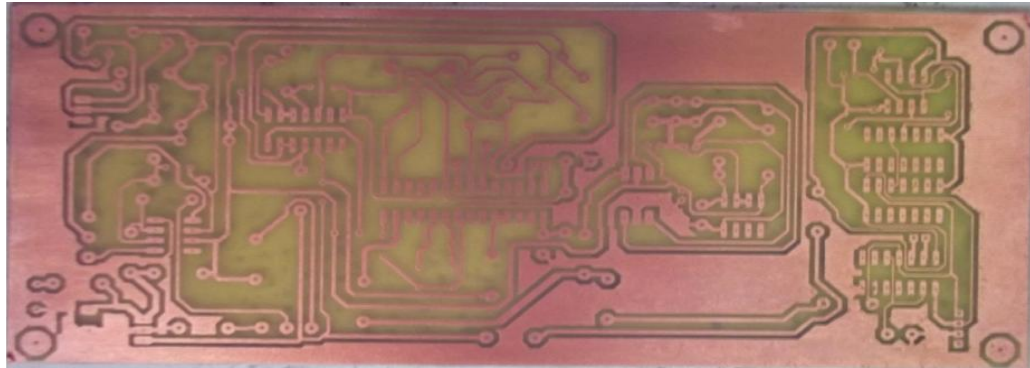
Fuente: El Autor.

### 6.3.2 Tarjeta del Circuito del Detector de Metales

A la tarjeta final fue necesario desarrollarle un sistema de desfase para que junto con el parámetro de la amplitud, se consiguiera aumentar la precisión del dispositivo y lograr con éxito la detección de metales y discriminación de los mismos.



Fotografía No. 5. Capa inferior de la placa del detector de metales.



Fuente: El Autor.

### 6.3.3 Lista de componentes utilizados en el Detector de Metales

Tabla No. 17. Lista de componentes utilizados en el Detector de Metales.

Componentes utilizados en el Detector de Metales					
Componente	Referencia del Componente	Valor del Componente	Componente	Referencia del Componente	Valor del Componente
Conector	MICROFONO	CONN-H2	Microcontrolador	U1	PIC18F2550
Bobina	BOBINA-PI	CONN-H2	Cristal	X1	20MHz
Conector	B. EMISOR VLF	CONN-H2	USB	U10	USBCONN
Conector	B. RECEPTOR VLF	CONN-H2	Regulador de Voltaje	U4	7805
Conector	12V	CONN-H2	Switch Análogo	U5:A,B,C. U7:A,B	4066
Capacitancia	C1, C4, C8, C10, C11, C14, C16	100nF	Resistencia	R1, R2, R6, R7, R9, R11, R18, R19, R23.	10kΩ
Capacitancia	C2	6pF	Resistencia	R3, R20, R21	100kΩ
Capacitancia	C3	1uF	Resistencia	R4, R8, R12.	100Ω
Capacitancia	C6	100uF	Resistencia	R5	1MΩ
Capacitancia	C7	470nF	Resistencia	R10, R13	220kΩ
Capacitancia	C12	1nF	Resistencia	R14	220Ω
Capacitancia	C13	10uF	Resistencia	R15	470Ω
Capacitancia	C15	22pF	Resistencia	R16, R17	47kΩ
Diodo	D2	1N4148	Resistencia	R22	1.2kΩ
Transistor	Q1, Q3	BC548	Resistencia	R24, R26.	240kΩ
Transistor Mosfet	Q2	IRF540	Resistencia	R25, R27.	22kΩ
Transistor	Q4	2N2222	Resistencia Variable	RV1, RV2	220kΩ
Transistor	Q5	TIP41	Potenciometro	POT-220K: 1,2	220kΩ
Transistor	Q6	TIP42	AND	U8	74LS08
Amplificador	U2:A,B. U6:A,B	LM358	Schmitt Trigger	U9	74LS14
Amplificador	U3	LM318	Reset	S1	-

Fuente: El Autor.

### 6.3.4 Fuente de alimentación del circuito

Se utilizó una fuente de CPU modificada con las siguientes especificaciones:

Input: 100V - 127V ~/ 5A, 47Hz - 63Hz.

Output: +12V  $\equiv$  / 10A.

Ver fotografía No. 6.

Fotografía No. 6. Fuente de alimentación.



Fuente: El Autor.

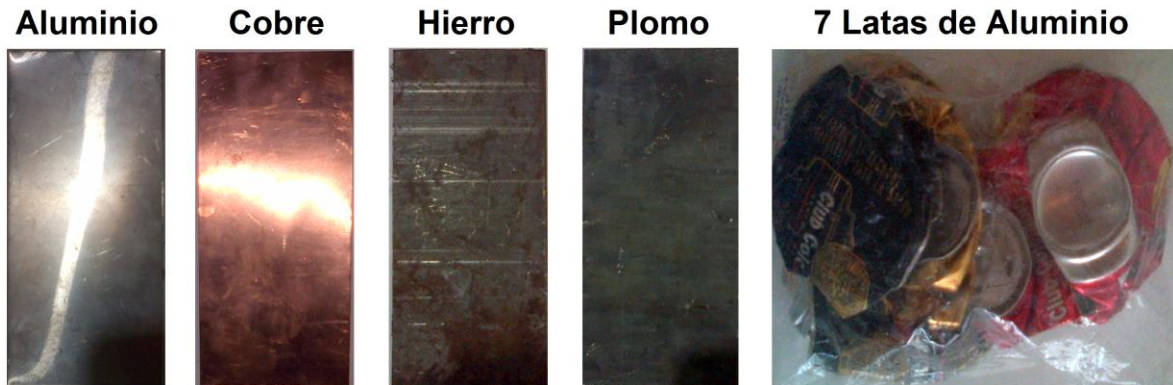
### **6.3.5 Comunicación**

La comunicación implementada en el dispositivo detector de metales se da a través de la conexión USB emulando un puerto serial para la tecnología PI; para el microcontrolador pic18f2550 en el código fuente se incluye la librería USB CDC “usb\_cdc.h” y para la Interfaz gráfica Labview 8.5 la emulación del puerto serial se realiza con la configuración de la tarjeta de sonido y puerto serial VISA que se encuentra descrita en las secciones 6.4.1.2 y 6.4.1.3 respectivamente. En la tecnología VLF la comunicación se realiza a través de la conexión del micrófono donde se pueden transmitir las dos señales, una de la bobina emisora y la otra de la bobina receptora. La comunicación para cada tecnología del dispositivo se diseñó de forma independiente para evitar posibles interferencias y daños.

### **6.3.6 Determinación de la frecuencia óptima de Detección**

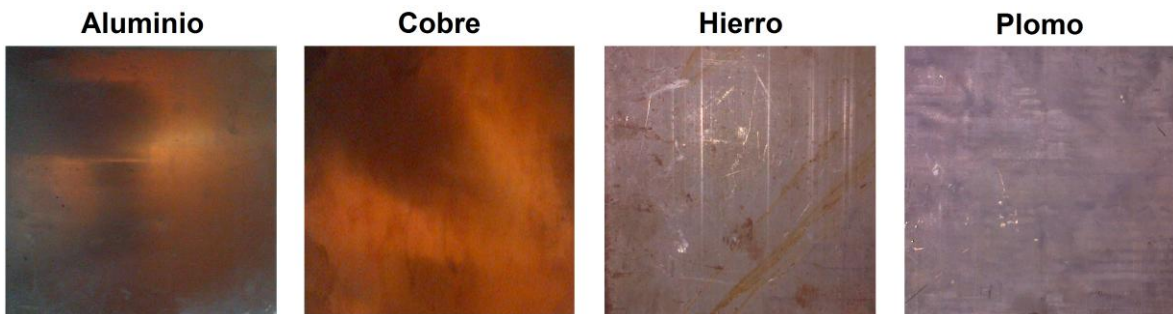
Para definir la frecuencia optima de detección de metales se realizaron varias pruebas con los metales a detectar; de acuerdo con el tipo de metal, presentación, dimensiones, calibre y peso como se detalla en las Fotografías No. 7 y No. 8, en varios datos de la frecuencia por encima y por debajo de 5 KHz los valores arrojados en la detección del hierro y el cobre eran muy similares, traslapándose los datos de estos dos metales, generando alteraciones y errores de discriminación del metal en el detector. En el valor de la frecuencia de 5 KHz el detector es estable en el área de detección, evitando errores de lectura de datos, siendo confiable al momento de la detección y discriminación del metal.

Fotografía No. 7. Metales Pequeños.



Fuente: El Autor.

Fotografía No. 8. Metales Grandes.



Fuente: El Autor.

Las especificaciones de los metales se encuentran en la Tabla No. 15. Blancos a detectar

#### 6.4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE DE DISCRIMINACIÓN

LabVIEW “Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench” de National Instrument es un entorno de desarrollo para diseñar sistemas a través de programación gráfica, tiene varias interfaz de comunicación entre los que se encuentra el USB, compatible con otros lenguajes y aplicaciones. Los programas en labview son llamados VI Instrumentos Virtuales, que constan de 2 componentes, panel frontal y diagrama de bloques. El panel frontal es la interfaz

que visualiza el usuario en tiempo real, permitiendo observar datos, estadísticas, señales, entre otros; a través de indicadores y controles que se ejecutan con el programa. El diagrama de bloques es el código que controla el programa donde se define su funcionamiento, iconos e interconexión.

## 6.4.1 Modo Detección

### 6.4.1.1 Interfaz gráfica del Detector PI

El panel frontal del detector PI está compuesto por una serie de indicadores y controles que permiten visualizar al usuario el tipo de puerto serial al cual está conectado en el PC, el valor leído “Voltaje”, un botón de calibración para la bobina en vacío y los indicadores de detección de metal y su respectiva discriminación de metal ferromagnético y no ferromagnético, la interfaz grafica se reseña en el Gráfico No.22

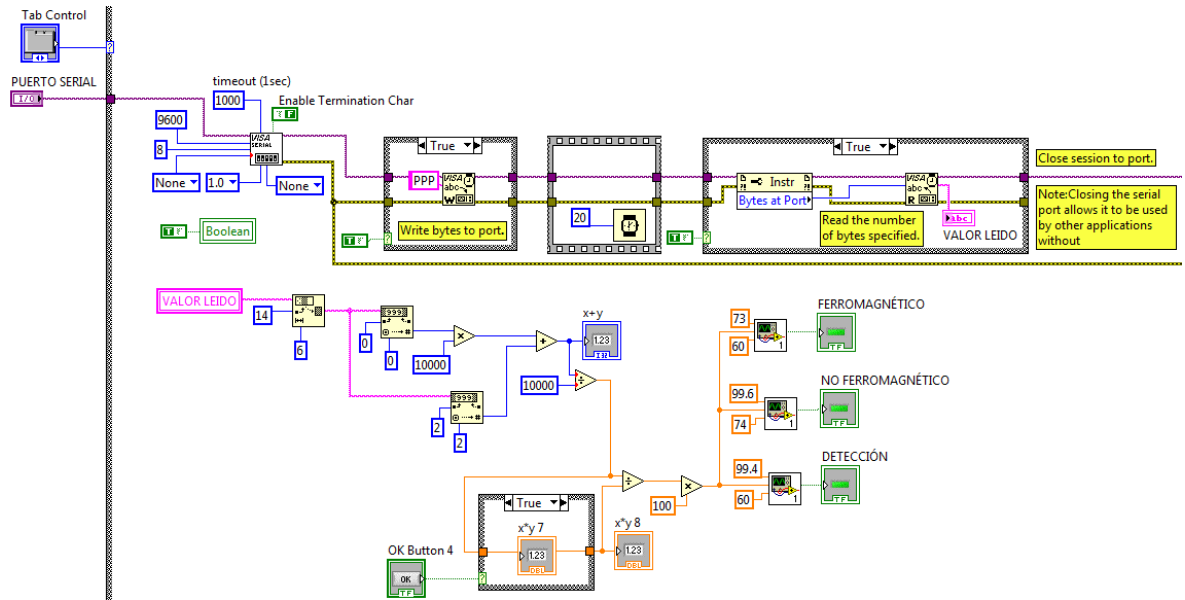
Gráfico No. 22. Interfaz gráfica del Detector PI.



Fuente: El Autor.

A continuación en el Gráfico No. 23, se detalla cada uno de los bloques aplicados en el modo de detección PI, el cual en ningún momento es visualizado por el usuario ya que es el código del panel frontal.

Gráfico No. 23. Diagrama de bloques del detector PI.



Fuente: El Autor.

Para una mejor vista del diagrama de bloques del detector PI ver anexo No. 3.

#### 6.4.1.2 Configuración de la tarjeta de sonido

Para realizar pruebas con el dispositivo de detección se utilizó la tarjeta de sonido, se generó la onda a través de la tarjeta; reemplazando el microcontrolador e identificando cual es la frecuencia adecuada de detección de materiales.

La configuración de la tarjeta de sonido es la siguiente:

Número de canales: 2, con 16 bits por muestra y una frecuencia de muestreo de 44100 bps. Configuración de entrada de sonido "Sound Input Configure" se configura el dispositivo de entrada de sonido el micrófono para adquirir datos y



enviar los datos a la memoria intermedia, donde el dispositivo de entrada es el micrófono.

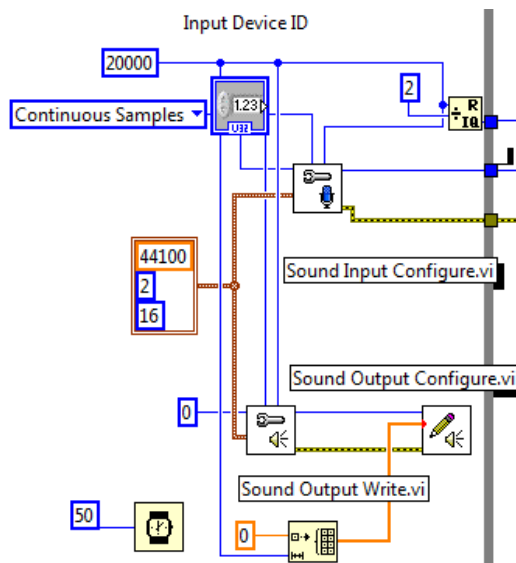
Configuración de la salida de sonido “Sound Output Configure” se configura el dispositivo de salida de sonido los audífonos para generar datos.

Ver gráfico No. 24.

La velocidad de transmisión es de 9600 bps, se transmiten 8 bits con un bit de parada que se utiliza para indicar el final de una trama, el nombre de recurso VISA “VISA resource name” especifica el recurso al que se abrirá una sesión de VISA de acuerdo al puerto conexión si es COM1, COM2, COM3, COM4, este control también especifica la sesión y clase, esta información se puede visualizar en el panel frontal del detector PI como puerto serial, ver Gráfico No.22.

Una sesión de VISA es un identificador lógico único utilizado por VISA para comunicarse con un recurso. La sesión de VISA es mantenida por el control de nombre de recurso VISA y no es visto por el usuario.

Gráfico No. 24. Configuración de la tarjeta de sonido.



Fuente: El Autor.

### 6.4.1.3 Configuración Puerto Serial VISA.

El puerto serial VISA está compuesto por varios elementos los cuales se describen y configuran a continuación:

Enable Termination Char es para la terminación de la operación de lectura. La operación de lectura termina cuando el Termination Char se lee desde el dispositivo serie. 0xA es el equivalente hexadecimal de un carácter de salto de línea (\n).

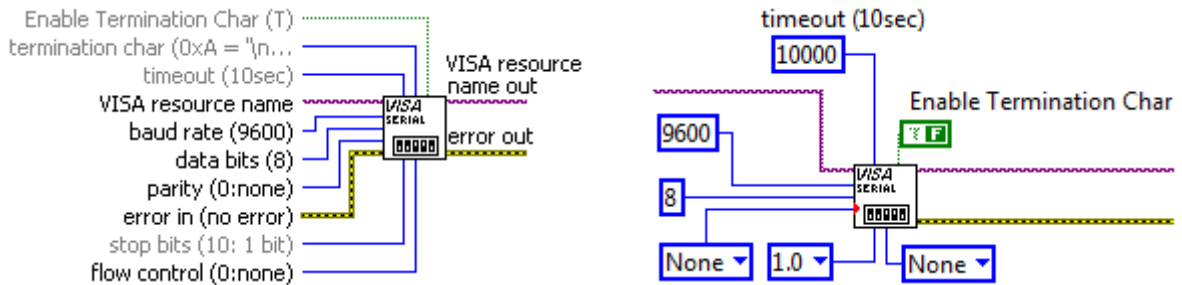
El time out es un retardo que establece el valor de tiempo de espera en milisegundos, para la escritura y lectura, dicho valor es de 10s para el detector VLF y 1s para el detector PI. El error de entrada “Error In” describe las condiciones de error que se producen antes de que esta VI o función se ejecute, para este caso no se especifica ningún error.

Flujo de control “Flow control” se deja especificado como 0: ninguno, ya que el mecanismo de transferencia no utiliza el control de flujo. Error de salida “error out” se configura de acuerdo a una serie de parámetros que contiene información que describe el origen del error o advertencia y en la mayoría de los casos, el nombre de la VI o función que lo produce.

El nombre de recurso VISA salida “VISA resource name out” es una copia del nombre de recurso VISA que se pasa de las funciones VISA, al pasar el nombre del recurso dentro y fuera de las funciones y el VI, se puede simplificar la programación de flujo de datos mediante funciones de encadenamiento y VIs juntos.

La configuración completa se encuentra en el gráfico No. 25.

Gráfico No. 25. Configuración del Puerto Serial VISA.

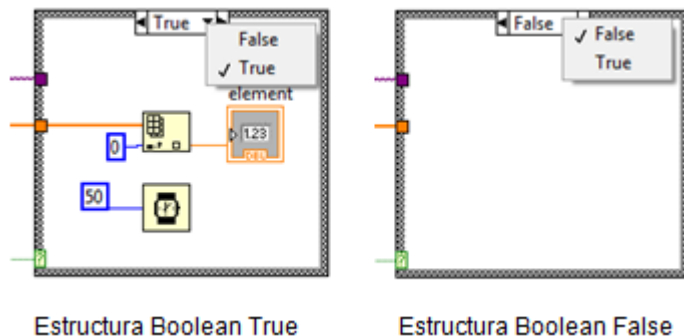


Fuente: El Autor.

#### 6.4.1.4 Diseño del diagrama de bloques del detector PI

Inicialmente en el diagrama de bloques se tiene un Tab Control que indica con que tecnología se va a trabajar, con el detector PI o con el VLF, se implementaron estructuras case tipo booleano y enumerado, donde se encuentran más subdiagramas En la estructura boolean se tiene dos opciones verdadero “True” o falso “False”, con true se ejecuta el diagrama de bloques que internamente tiene y con false no realiza ningún diagrama, como se observa en el gráfico No. 26.

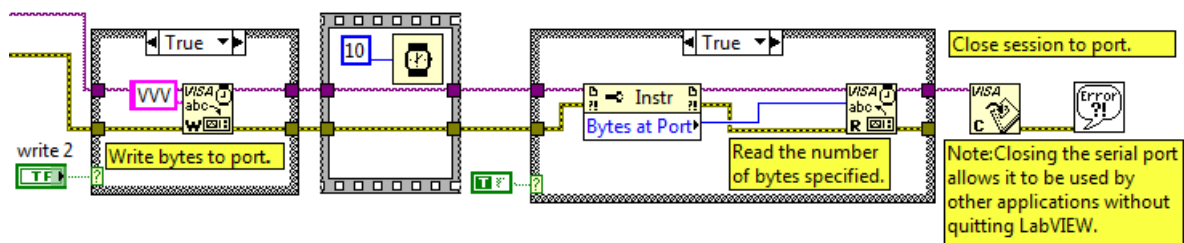
Gráfico No. 26. Estructura Case tipo Boolean.



Fuente: El Autor.

Escribir VISA “VISA write” escribe los datos del buffer de escritura en el dispositivo o interfaz especificado por nombre de recurso VISA, en este caso escribe en el puerto serial “VVV” para el caso del detector VLF y “PPP” para el detector PI. Wait (ms), espera el número especificado de milisegundos y devuelve el valor del contador de tiempo de milisegundos, para el detector VLF es de 10 ms y para el detector PI es de 20 ms, ver gráfico No. 27.

Gráfico No. 27. Diagrama de bloques para VLF y PI.



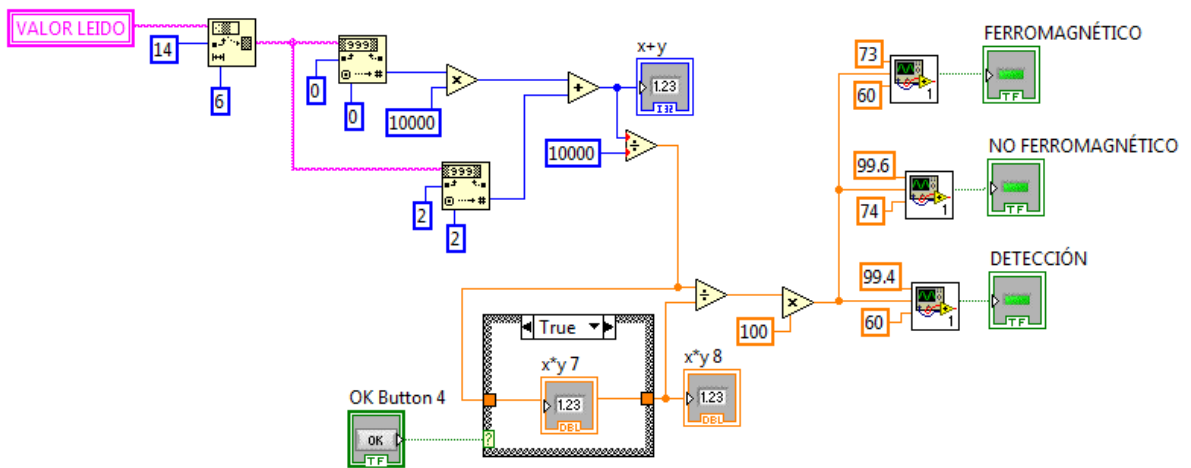
Fuente: El Autor.

Posteriormente después de esperar el tiempo estipulado a través de “VISA read” se lee el número especificado de bytes desde el dispositivo o interfaz especificado por nombre de recurso VISA y devuelve los datos en el búfer de lectura, lee el string que fue enviado por el microcontrolador y se puede observar en el panel frontal del PI como valor leído.

VISA Cerrar “VISA close”, cierra una sesión del dispositivo u objeto evento especificado por nombre de recurso. El manejador de error simple “Simple Error Handler” indica si se ha producido un error, si se produce un error, el VI devuelve una descripción del error y muestra opcionalmente una caja de diálogo. También es necesario implementar nodo de propiedad “Property node” que adapta automáticamente a la clase de objeto que hace referencia. LabVIEW incluye nodos de propiedad preconfigurados para acceder a las propiedades, como propiedades de la conexión.

Después de adquirir el dato de valor leído que representa la respuesta del metal al pulso inducido del modulo PI, se procede a realizar a través de los diagramas de bloque un tratamiento a la información para extraer el valor indicado para identificarlo en el rango definido, primero para indicar si es un metal y segundo para clasificarlo en un metal ferromagnético o no ferromagnético, como se encuentra definido en el Gráfico No. 28.

Gráfico No. 28. Detección y Discriminación del Metal Modulo PI.



Fuente: El Autor.

## 6.4.2 Modo Discriminación

### 6.4.2.1 Interfaz gráfica LabVIEW del Detector VLF

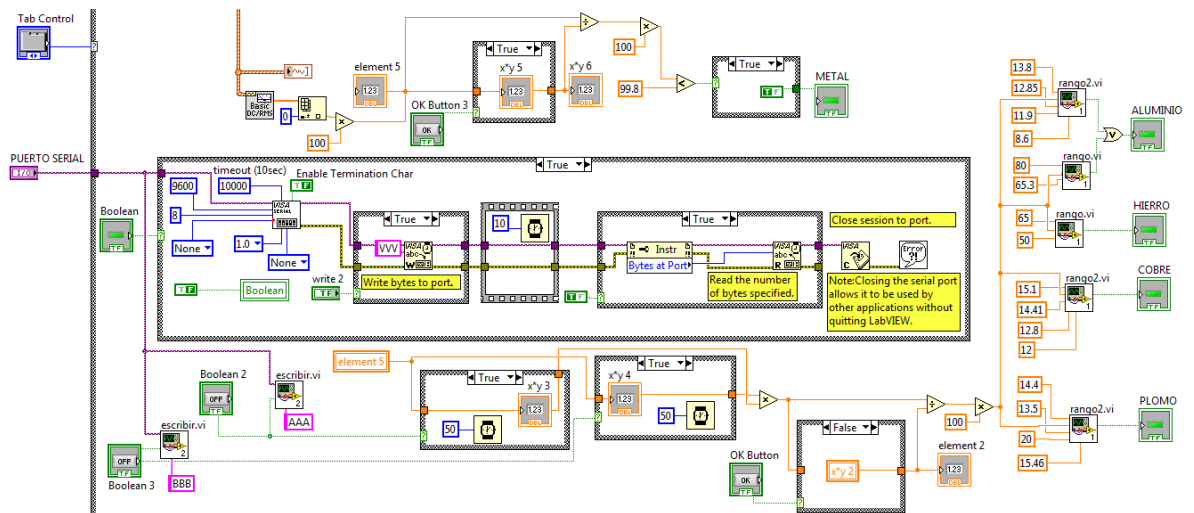
Con los valores de desfase y amplitud obtenidos de cada señal asociada a cada uno de los metales se detectan y discriminan efectivamente, pudiendo visualizar en el panel frontal la información como se especifica en el gráfico No. 29 y su configuración en el diagrama de bloques en el gráfico No. 30.

Gráfico No. 29. Interfaz gráfica del Detector VLF.



Fuente: El Autor.

Gráfico No. 30. Diagrama de bloques del detector VLF.



Fuente: El Autor.

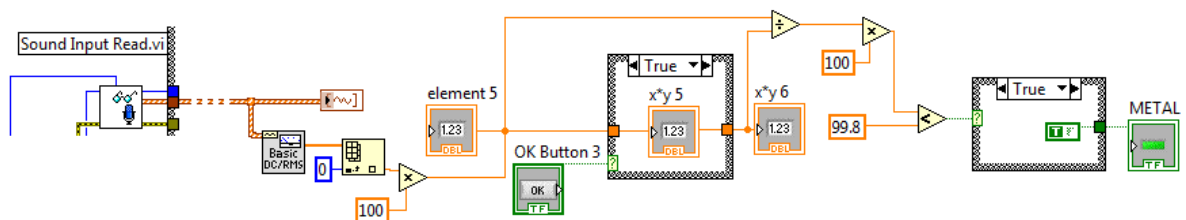
Para una mejor vista del diagrama de bloques del detector VLF ver anexo No. 4

### 6.4.2.2 Diseño del diagrama de bloques del detector VLF

El modulo VLF está compuesto por dos sesiones de diagramas de bloques que son la detección del metal y la discriminación del mismo a través de los valores recopilados de su amplitud y desfase.

Con el bloque “Sound Input Read.vi” lectura de entrada de sonido se leen los datos entrantes a través del micrófono, teniendo la señal de entrada en el bloque “Basic DC/RMS” se calculan los valores de la forma de onda de corriente continua y RMS. En el bloque continuo Index Array ingresa el valor en forma de caracteres donde posteriormente es convertido en parte numérica para ser leído e identificarlo de acuerdo a los rangos establecidos y determinar si es un metal, como se puede visualizar en el gráfico No. 31.

Gráfico No. 31. Detección del metal.

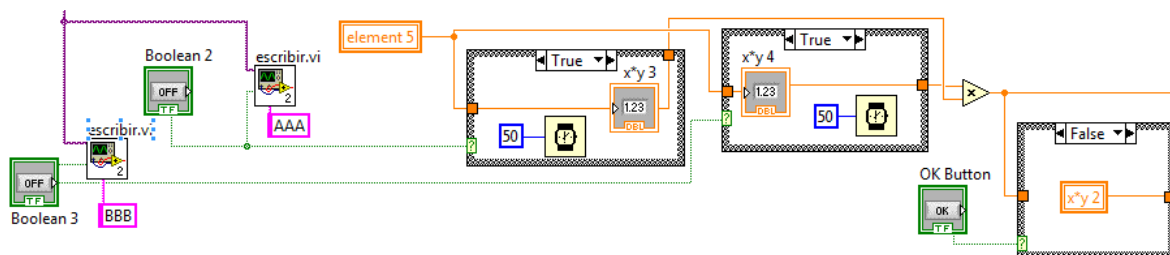


Fuente: El Autor.

Después se crean subVIs que realizan tareas más sencillas dentro del VI general, este método de diseño es una de las ventajas de LabVIEW donde se puede diseñar fácilmente aplicaciones complejas utilizando una estructura jerárquica y usando elementos comunes varias veces dentro de la aplicación.

Con los subVIs se escriben las letras AAA o BBB que son enviados al microcontrolador, “A” para la amplitud y “B” para el desfase como se muestra en el gráfico No. 32.

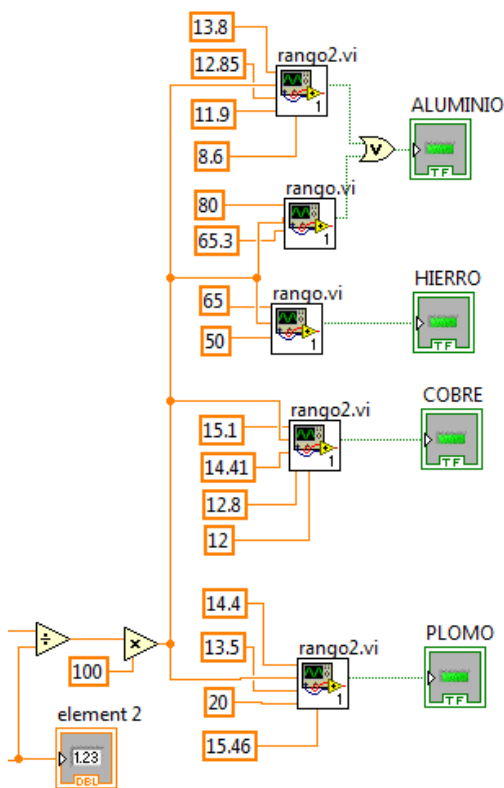
Gráfico No. 32. Selección de Amplitud y Desfase.



Fuente: El Autor.

Para la discriminación de cada uno de los materiales detectados es necesario implementar subVIs, rango.vi que tienen un solo rango: mayor 1 y menor 1, de igual forma rango2.vi que posee dos rangos: mayor 1,2 y menor 1,2; que de acuerdo a la entrada y parametrización de cada uno de los rangos activa el indicador del metal encontrado por el detector. Ver gráfico No. 33.

Gráfico No. 33. Discriminación del Metal.



Fuente: El Autor.



### **6.4.3 Manual de manejo de la interfaz gráfica LabVIEW**

Se conecta la fuente de alimentación a la tarjeta del detector, la tarjeta posee un led de color rojo que es encendido durante la entrada de voltaje a la tarjeta confirmando la conexión. Se realiza la conexión del cable USB entre la tarjeta y el equipo PC para la tecnología PI, se conecta la salida de la tarjeta a la entrada del micrófono del equipo PC para la tecnología VLF, si inicialmente se selecciona “DETECTOR PI” se conecta la bobina a la conexión de la tarjeta Bobina-PI, si por el contrario se selecciona el “DETECTOR VLF” la bobina debe ser conectada a las conexiones TX y RX de la tarjeta.

Se abre el archivo detector.vi con el programa LabVIEW, nos abre el panel frontal del detector de metales, donde se tienen dos opciones de detección de metales a través del modulo PI y VLF. Se oprime el comando “Run” para dar inicio al programa y se selecciona al “DETECTOR PI”, se debe verificar en el administrador de dispositivos del PC en que puerto fue reconocido la tarjeta y seleccionarlo en el panel frontal del detector PI en la opción “PUERTO SERIAL”, se selecciona el mismo puerto que reconoció el PC para que exista sincronización y comunicación entre la tarjeta y el PC.

En la opción “VALOR LEIDO” debe aparecer el voltaje aproximado de 4.9 v, si se encuentra por bajo de dicho valor se debe de ajustar a través del potenciómetro de 220 K $\Omega$  de la tarjeta hasta lograr su máximo voltaje.

Para la calibración de la bobina en modo PI se debe de ubicar la bobina aislada de cualquier material cercano y ejecutar el botón “CALIBRAR”, de este modo la bobina se encuentra lista para la detección, identificando a través de indicadores de color verde cada vez que es detectado metales ferromagnéticos como el hierro y no ferromagnéticos entre los que se encuentran el aluminio, el cobre y el plomo,

se debe de esperar varios segundo para que el voltaje del indicador “VALOR LEIDO” se encuentre estable y hacer lectura exitosa del tipo de metal encontrado.

En el detector VLF se debe conectar la bobina a la tarjeta como anteriormente fue especificado, la bobina debe de estar ubicada inicialmente un una zona libre de metales para que no influyan en la calibración. Se selecciona en el panel frontal “DETECTOR VLF” y debe de ilustrar una señal senoidal, si no es visualizada se selecciona “DETECTOR PI” y posteriormente “DETECTOR VLF”, para que de este forma se cambie de modo de detección. Cuando es visualizada la señal senoidal se presiona el botón “DESFASE” del panel frontal y luego “AMPLITUD”, se elige “CALIBRAR” y por último el botón escrito “AMPLITUD”, donde los dos valores de los indicadores de amplitud deben de ser iguales; con este procedimiento la bobina del detector VLF se encuentra calibrada. Los metales encontrados son discriminados en el panel frontal con el encendido del indicador de cada metal correspondiente de aluminio, hierro, cobre o plomo.

## **CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **7.1 RESULTADOS DEL DISPOSITIVO DE DETECCIÓN**

Con las variaciones en la forma, tamaño, diseño y número de vueltas del alambre de cobre de la bobina emisora y receptora, se descartaron las diferentes bobinas construidas de acuerdo a los resultados arrojados por cada una de ellas detallado en la sección 6.1.1 Construcción de las Bobinas de prueba para el Detector de Metales, donde finalmente se construyó la bobina tipo DD la cual tiene una buena área de sensibilidad de detección y discriminación de metales; para un mejor análisis citar el punto 6.1.2 Bobina del Detector de Metales.

Con la adquisición de los datos se analizó que a mayor frecuencia menor corriente sobre los bobinados de detección, dependiendo de esta manera de la frecuencia óptima de 5 KHz para la emisión de la señal inicial del campo magnético y no de otro agente externo para la detección.

En el material ferromagnético que es el hierro el voltaje inducido se incrementa al aumentar la corriente de excitación y por el contrario en materiales no ferromagnéticos como el cobre, aluminio y plomo el voltaje inducido es mayor cuando decrece la corriente.

### **7.2 RESULTADOS CON EL HARDWARE DE CONTROL**

#### **7.2.1 Muestra de Pruebas de Detección**

El tamaño de la muestra requerida para ejecutar las pruebas del dispositivo de detección de metales se hace por Muestreo de Descubrimiento [21], puesto que combina la selección de las nueve (9) formas de los metales, como unidades de

muestreo, con una regla de decisión de acuerdo a la cantidad de errores encontrados, lo que conduce a aceptar o rechazar la eficacia y efectividad.

El investigador en su papel de auditor determina una muestra con base en su juicio personal, como técnica tradicional denominada muestreo no aleatorio, donde la selección y la amplitud se hacen sobre una base subjetiva, es decir, para este caso se examinan todas las partidas que integran el grupo de las nueve formas de los metales y se desarrollan 5 pruebas con cada una de ellas, ya que su número es finito y muy pequeño.

Se toma como nivel de calificación la definida por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), de la siguiente tabla:

Tabla No. 18. Nivel de Calificación.

Nivel de Calificación		
Rango	0% - 69%	<b>No Aprueba</b>
Rango	70% - 100%	<b>Aprueba</b>

Fuente: El Autor.

Por lo anterior, el tamaño de la muestra requerida para llevar a cabo el estudio es de 45 pruebas en cada caso en particular.

En las diferentes tablas y gráficos especificados en cada uno de los resultados con tecnología PI y VLF de detección y discriminación de los blancos se utilizan la siguiente información:

Se usaron los números uno (1) y cero (0) en las tablas, donde el 1 indica activación de la casilla de afirmación (SÍ) o de la negación (NO) y por el contrario el 0 inhabilita la casilla correspondiente a su ubicación.

En los gráficos se tiene asignado el color azul para la barra de afirmación o nivel de calificación de aprobación y el color rojo para la barra de negación o nivel de calificación de no aprobación del dispositivo, como se especifica a continuación:

 → **SÍ, Aprueba, (Acertos).**       → **NO, No Aprueba, (Fallos).**

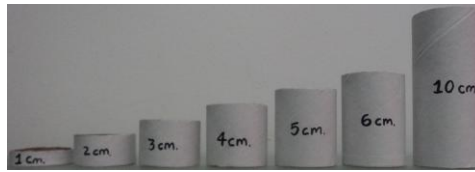
En el eje X se tiene la información de todos los blancos utilizados en las pruebas desde el blanco I hasta el blanco IX o en gráficos generales se tiene en centímetros las distancias de separación entre el dispositivo y los metales; y en el eje Y los valores de 1 y 0 los cuales me activan o inhabilita la afirmación o negación, para los gráficos generales el eje Y tiene la información en porcentaje.

En la columna de número de aciertos se totaliza la sumatoria de cada número 1 que activa la afirmación (SÍ) y en la columna de número de fallos se ubica la suma total de cada 1 que activa la negación (NO).

En los análisis de la información en general se tiene una columna del porcentaje correspondiente al número de aciertos en los resultados, este dato se grafica en el eje Y de acuerdo a su tabla asignada.

Las pruebas físicas realizadas con la bobina y los metales “ver fotografía No. 9” fueron separados a diferentes distancias para analizar su respuesta a medida que se aleja el detector del blanco, para ello fue necesario ubicar soportes de cartón para tener precisión en la distancia a 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm y 10 cm, para longitudes diferentes a las especificadas se unen dos soportes de acuerdo a la medida que se requiera.

Gráfico No. 34. Soportes de distancia entre los blancos y la bobina.



Fuente: El Autor.

Fotografía No. 9. Pruebas físicas del detector de metales.



Fuente: El Autor.

### 7.2.2 Resultados de detección de metales con tecnología PI

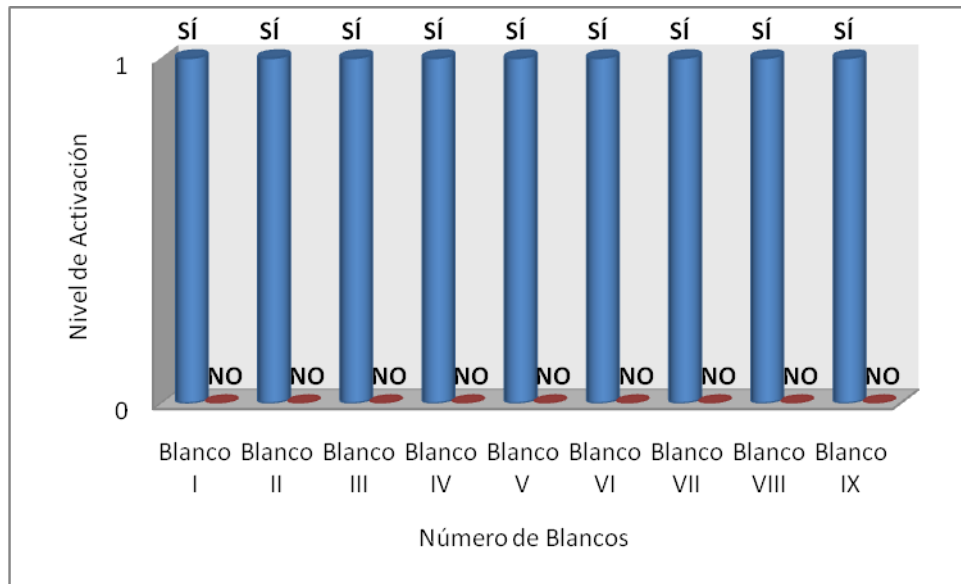
Los blancos a detectar fueron ubicados a diferentes distancias de la bobina de detección, centrando el metal sobre el área de mayor sensibilidad de detección, en cada una de las siguientes tablas se establece a qué distancia se encuentra el metal del dispositivo de detección y posteriormente se concluye de acuerdo al estudio de los datos adquiridos de las distintas pruebas de los metales.

Tabla No. 19. Detección de los blancos tangente a la bobina.

No. de Pruebas	Detección del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco II	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco III	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IV	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco V	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VI	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VIII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
<b>TOTAL</b>											45	0
<b>PORCENTAJE (%)</b>											100%	0%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>											<b>APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 35. Detección de los blancos tangente a la bobina.



Fuente: El Autor.

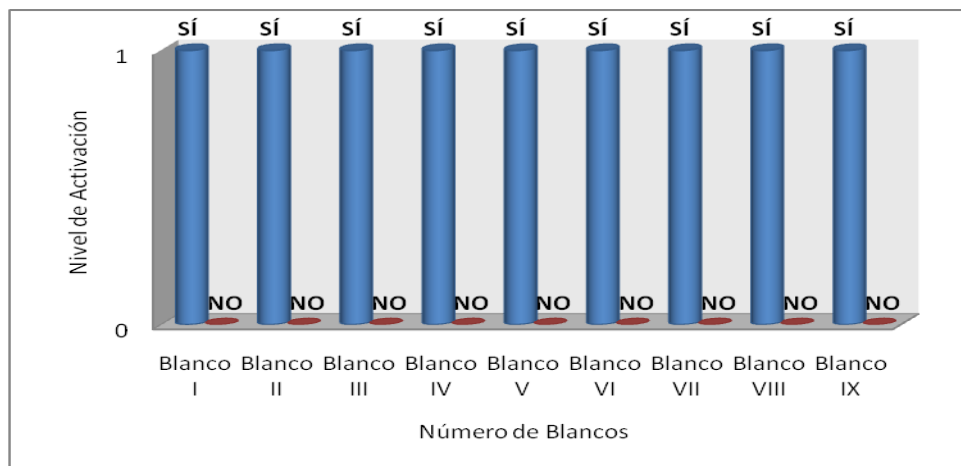
La información adquirida de detección de los blancos por el detector PI a 1 y 2 cm de distancia de la bobina son idénticos, por lo tanto se realiza una sola tabla y gráfico para el análisis de la información.

Tabla No. 20. Detección de los blancos a 1 y 2 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas	Detección del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco II	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco III	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IV	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco V	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VI	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VIII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
<b>TOTAL</b>											45	0
<b>PORCENTAJE (%)</b>											100%	0%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>											<b>APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 36. Detección de los blancos a 1 y 2 cm de distancia de la bobina.



Fuente: El Autor.

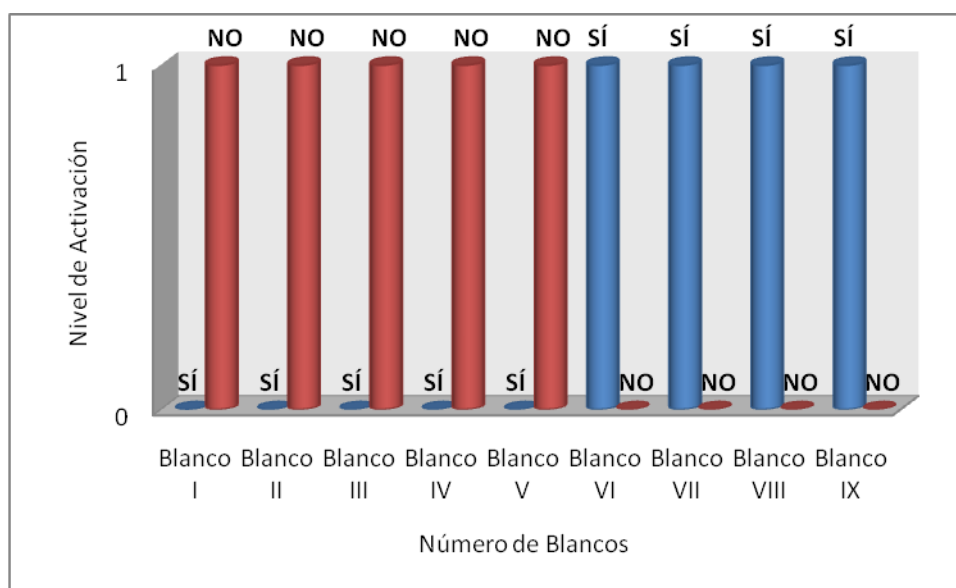


Tabla No. 21. Detección de los blancos a 3 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas	Detección del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco II	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco III	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco V	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VI	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VIII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
<b>TOTAL</b>											20	25
<b>PORCENTAJE (%)</b>											44%	56%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>											<b>NO APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 37. Detección de los blancos a 3 cm de distancia de la bobina.



Fuente: El Autor.

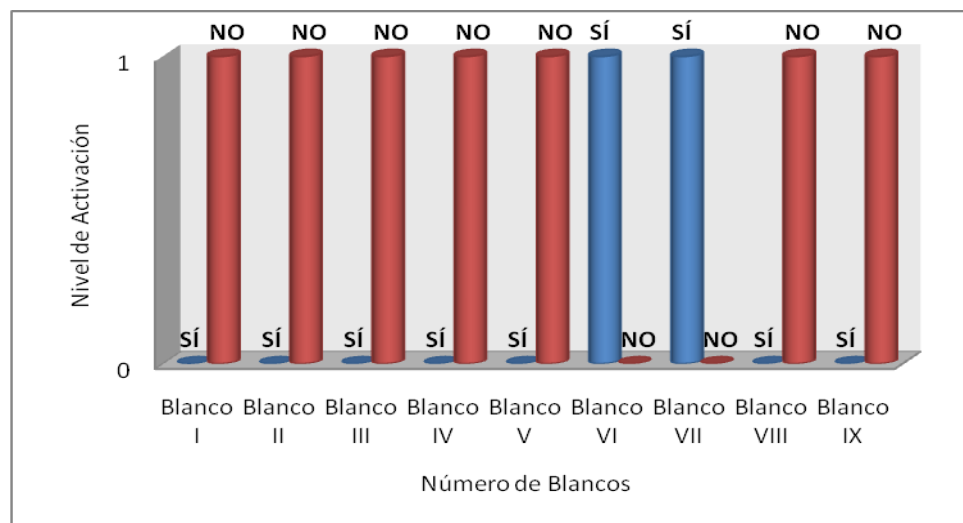
Los resultados de las pruebas desde 4 cm hasta 6 cm de distancia de la bobina son semejantes, generando para el estudio de los datos una única tabla y gráfico.

Tabla No. 22. Detección de los blancos desde 4 cm hasta 6 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas	Detección del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco II	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco III	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco V	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VI	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VIII	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IX	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
<b>TOTAL</b>											10	35
<b>PORCENTAJE (%)</b>											22%	78%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>											<b>NO APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 38. Detección de los blancos desde 4 cm hasta 6 cm de distancia de la bobina.



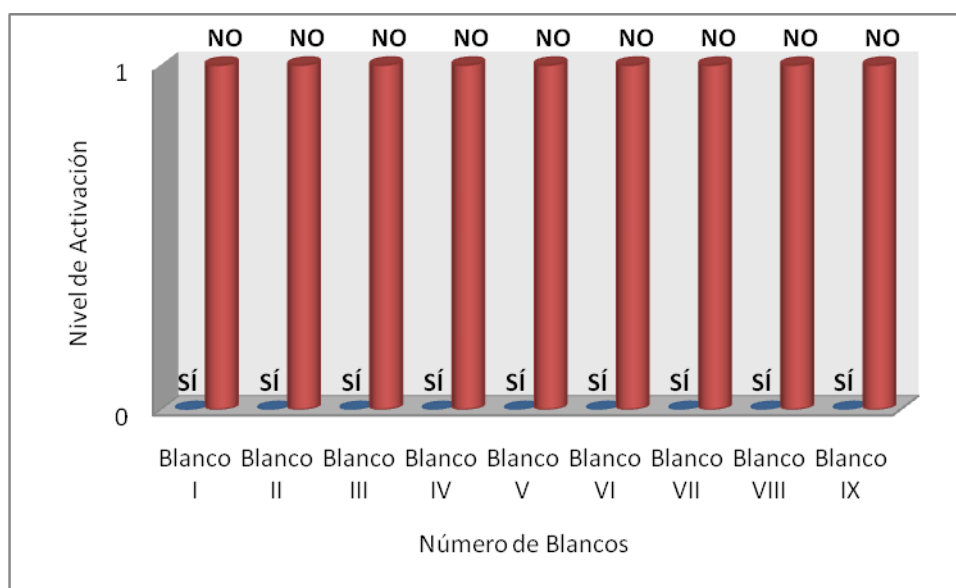
Fuente: El Autor.

Tabla No. 23. Detección de los blancos a 7 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas	Detección del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco II	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco III	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco V	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VI	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VII	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VIII	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IX	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
<b>TOTAL</b>											0	45
<b>PORCENTAJE (%)</b>											0%	100%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>											<b>NO APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 39. Detección de los blancos a 7 cm de distancia de la bobina.



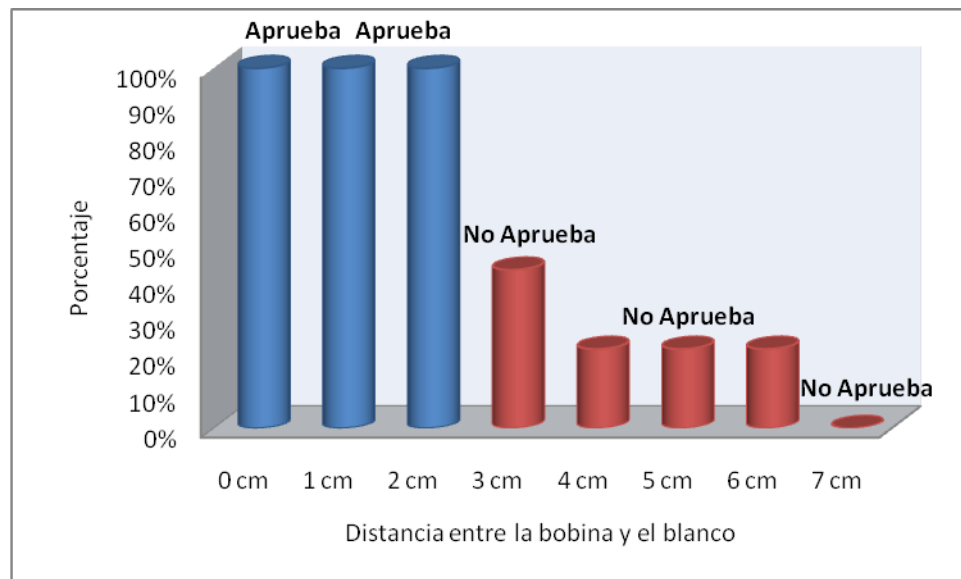
Fuente: El Autor.

Tabla No. 24. Detección general de los blancos a diferentes distancias de la bobina.

Detección del Metal	Blanco I		Blanco II		Blanco III		Blanco IV		Blanco V		Blanco VI		Blanco VII		Blanco VIII		Blanco IX		No. de Aciertos	% de Aciertos	Nivel de Calificación	No. de Fallos	% de Fallos
	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO					
0 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	100%	APRUEBA	0	0%
1 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	100%	APRUEBA	0	0%
2 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	100%	APRUEBA	0	0%
3 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	4	44%	NO APRUEBA	5	56%
4 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	2	22%	NO APRUEBA	7	78%
5 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	2	22%	NO APRUEBA	7	78%
6 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	2	22%	NO APRUEBA	7	78%
7 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0%	NO APRUEBA	9	100%

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 40. Nivel de Calificación de detección a diferentes distancias de la bobina.



Fuente: El Autor.

Empleando la tecnología de inducción de pulso en el detector de metales se realizaron una serie de pruebas con el dispositivo, para cada metal se hicieron 5 repeticiones de la prueba a diferentes distancias entre el metal y el detector.

Todas las pruebas se ejecutaron bajo las mismas condiciones, las diferencias radican en las características de cada metal, como se especifica en tabla No. 15. Blancos a detectar, donde se describe cada uno de los blancos implementados con sus características correspondientes. Los resultados obtenidos del detector de metales se analizaron detalladamente a cada una de las distancias especificadas.

El dispositivo detecta el metal a una distancia no mayor a 2 cm entre el detector y el metal con una efectividad del 100% en los aciertos, superior a 2 cm la detección presenta dificultades en los metales de aluminio y cobre, a partir de los 3 cm en adelante el plomo tiene problemas en la detección; el hierro es el metal de mayor distancia de detección ya que es el único que se detecta a 6 cm del dispositivo.

Finalmente por encima de los 7 cm el dispositivo no localiza ningún metal ya que a esta distancia la respuesta al pulso inducido no es significativa y no se obtiene alguna señal en la bobina receptora, de igual forma el detector no identifica metales de dimensiones menores de 10 x 20 cm; área del metal de menor tamaño en los blancos a detectar ya que no tienen un área lo suficientemente grande para generar respuesta al pulso inducido.

### **7.2.3 Resultados de discriminación de metales con tecnología PI**

En la clasificación de los metales en el modulo PI se debe tener presente la estabilidad en la lectura del voltaje de respuesta del metal ante el pulso inducido de la bobina emisora, transcurridos 10 segundos de la detección, el voltaje de respuesta se estabiliza permitiendo una discriminación acertada del metal encontrado.

Todas las pruebas de detección se desarrolla específicamente sobre el área de sensibilidad de detección de la bobina, área donde se traslapa el bobinado primario con el bobinado secundario permitiendo estabilidad del detector; si se ubica el metal en un are diferente al área traslapada o no cumple con el área

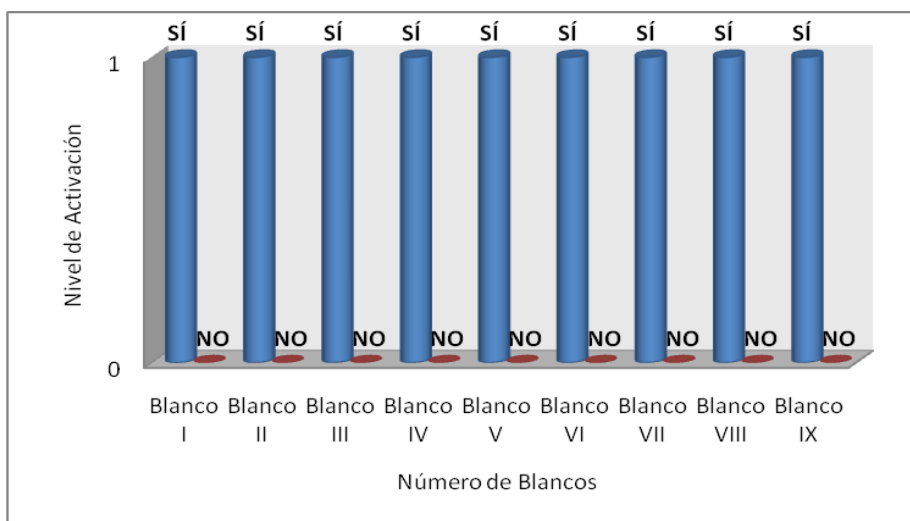
mínima de identificación la lectura no es la adecuada y genera errores en la detección y discriminación del metal.

Tabla No. 25. Discriminación de los blancos tangente a la bobina.

No. de Pruebas		Discriminación del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
		No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	Metal	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco II	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco III	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IV	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco V	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VI	Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VIII	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
<b>TOTAL</b>												45	0
<b>PORCENTAJE (%)</b>												100%	0%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>												<b>APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 41. Discriminación de los blancos tangente a la bobina.



Fuente: El Autor.

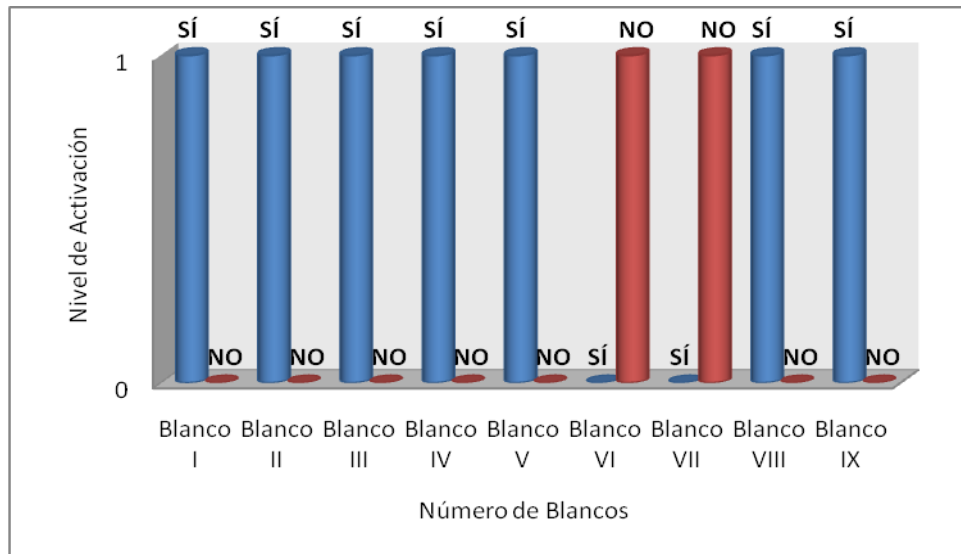
En el detector PI la discriminación de los blancos a 1 y 2 cm de distancia de la bobina son exactamente iguales.

Tabla No. 26. Discriminación de los blancos a 1 y 2 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas		Discriminación del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
		No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	Metal	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco II	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco III	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IV	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco V	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VI	Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VII	Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VIII	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
<b>TOTAL</b>												35	10
<b>PORCENTAJE (%)</b>												78%	22%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>												<b>APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 42. Discriminación de los blancos a 1 y 2 cm de distancia de la bobina.



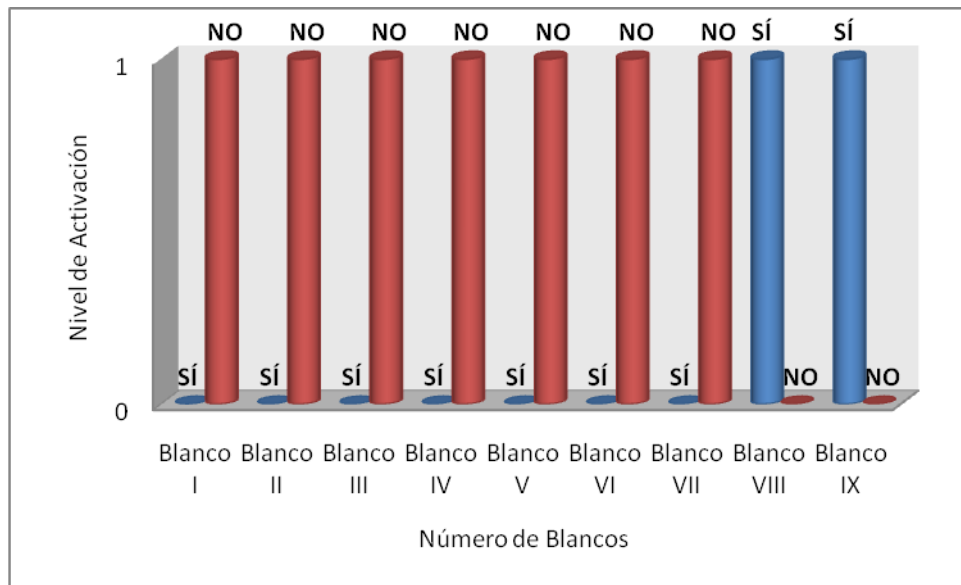
Fuente: El Autor.

Tabla No. 27. Discriminación de los blancos a 3 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas		Discriminación del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
		No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	Metal	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	No Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco II	No Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco III	No Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	No Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco V	No Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VI	Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VII	Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VIII	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	No Ferromagnético	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
<b>TOTAL</b>												10	35
<b>PORCENTAJE (%)</b>												22%	78%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>												<b>NO APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 43. Discriminación de los blancos a 3 cm de distancia de la bobina.



Fuente: El Autor.

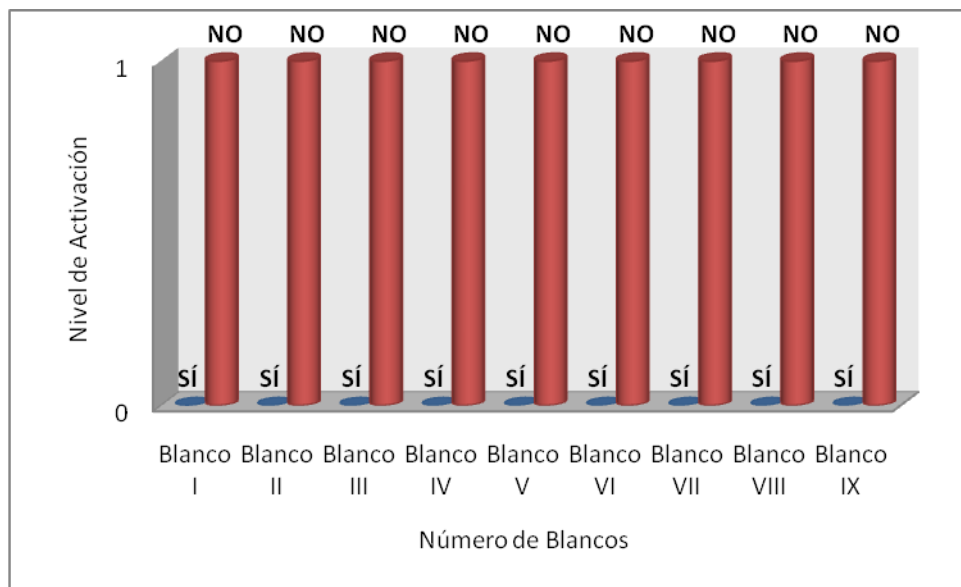


Tabla No. 28. Discriminación de los blancos a 4 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas		Discriminación del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
		No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	Metal	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	No Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco II	No Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco III	No Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	No Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco V	No Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VI	Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VII	Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VIII	No Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IX	No Ferromagnético	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
<b>TOTAL</b>												0	45
<b>PORCENTAJE (%)</b>												0%	100%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>												<b>NO APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 44. Discriminación de los blancos a 4 cm de distancia de la bobina.



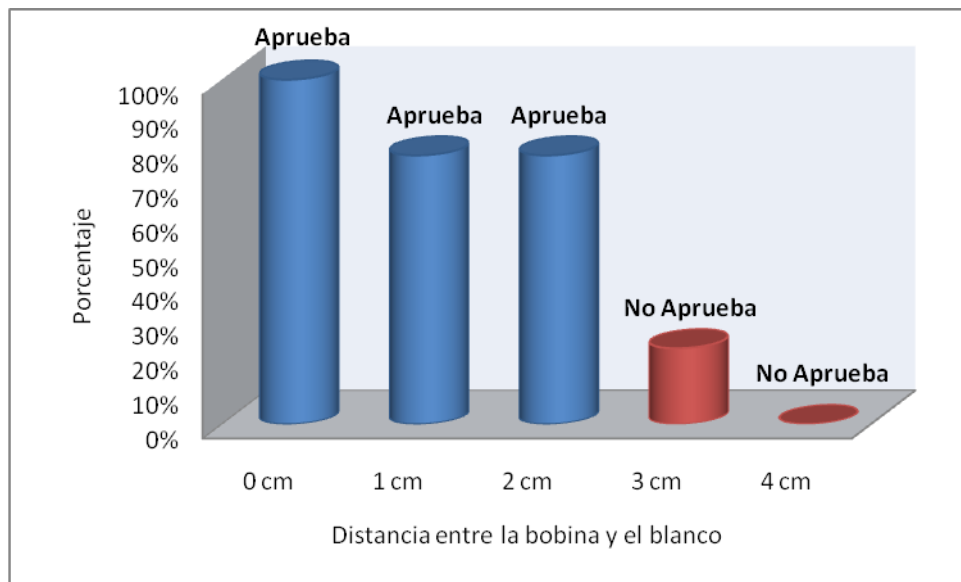
Fuente: El Autor.

Tabla No. 29. Discriminación general de los blancos a diferentes distancias de la bobina.

Discriminación del Metal	Blanco I		Blanco II		Blanco III		Blanco IV		Blanco V		Blanco VI		Blanco VII		Blanco VIII		Blanco IX		No. de Aciertos	% de Aciertos	Nivel de Calificación	No. de Fallos	% de Fallos
	No Ferromagnético										Ferromagnético				No Ferromagnético								
	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO					
0 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	100%	APRUEBA	0	0%
1 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	7	78%	APRUEBA	2	22%
2 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	7	78%	APRUEBA	2	22%
3 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	2	22%	NO APRUEBA	7	78%
4 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0%	NO APRUEBA	9	100%

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 45. Nivel de Calificación de discriminación a diferentes distancias de la bobina.



Fuente: El Autor.

El modulo PI detecta el metal y lo discrimina dependiendo de sus características, si es hierro es un metal Ferromagnético, si es aluminio, cobre o plomo lo discrimina como metal no ferromagnético. De acuerdo con los datos adquiridos por cada una de las pruebas a diferentes distancias se logra realizar con el 100% de efectividad la discriminación cuando el metal es tangente a la bobina de detección, a partir de 1 cm de distancia entre el metal y la bobina, la discriminación en el

metal ferromagnético presenta alteraciones, pero sigue siendo estable al momento de la discriminación de metales no ferromagnéticos, reduciendo la efectividad a un 78%. Mayor a 3 cm de distancia la discriminación del dispositivo no es confiable ya que de acuerdo al incremento de la distancia entre el metal y el detector varían las características de la señal de respuesta del metal.

Los valores de detección y discriminación de los metales permanecen estables si se encuentran dentro del área de sensibilidad de detección del dispositivo y cumpla con el área mínima de detección del metal. Con la información obtenida se identificó que en el modulo PI el voltaje de respuesta es más lento del material ferromagnético “el hierro”, se estabiliza a los 15 segundos y está siempre por debajo del voltaje de respuesta de los materiales no ferromagnéticos los cuales responden en un menor tiempo de lectura del voltaje.

En general para la tecnología PI la detección se puede realizar a distancias no mayores a 2 cm y la discriminación del metal debe hacerse tangente a la bobina para cumplir con una efectividad del 100% en la detección y discriminación de los metales.

#### **7.2.4 Resultados de detección de metales con tecnología VLF**

Para cada uno de los datos adquiridos de los resultados a diferentes distancias de los blancos con el dispositivo de detección se realiza una tabla específica y un gráfico para un mejor análisis de la información.

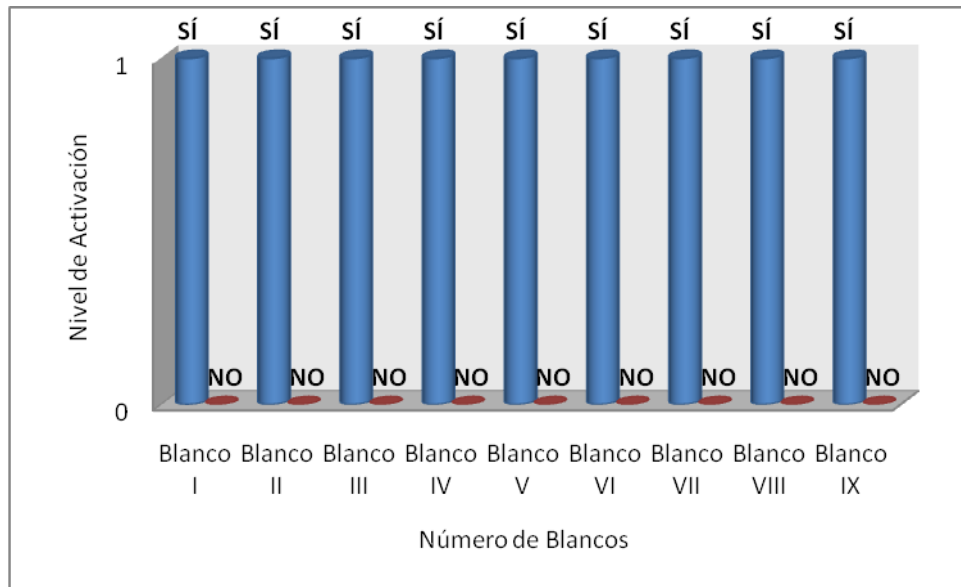
Los blancos utilizados para la detección con tecnología VLF son los mismos blancos empleados para la detección con tecnología PI, con igual presentación, peso y dimensiones en tamaño y espesor.

Tabla No. 30. Detección de los blancos tangente a la bobina.

No. de Pruebas	Detección del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco II	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco III	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IV	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco V	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VI	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VIII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
<b>TOTAL</b>											45	0
<b>PORCENTAJE (%)</b>											100%	0%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>											<b>APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 46. Detección de los blancos tangente a la bobina.



Fuente: El Autor.

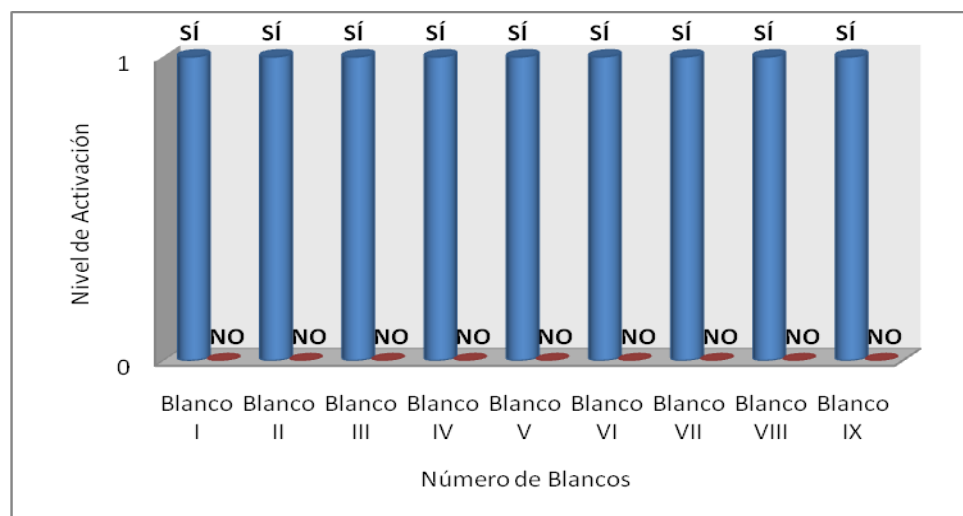
Los resultados obtenidos de detección de metales con el detector de tecnología VLF son iguales a partir de 1 cm hasta 7 cm de distancia de la bobina, por lo tanto se especifica en general una sola tabla y un solo gráfico.

Tabla No. 31. Detección de los blancos desde 1 cm hasta 7 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas	Detección del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco II	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco III	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IV	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco V	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VI	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VIII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
<b>TOTAL</b>											45	0
<b>PORCENTAJE (%)</b>											100%	0%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>											<b>APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 47. Detección de los blancos desde 1 cm hasta 7 cm de distancia de la bobina.



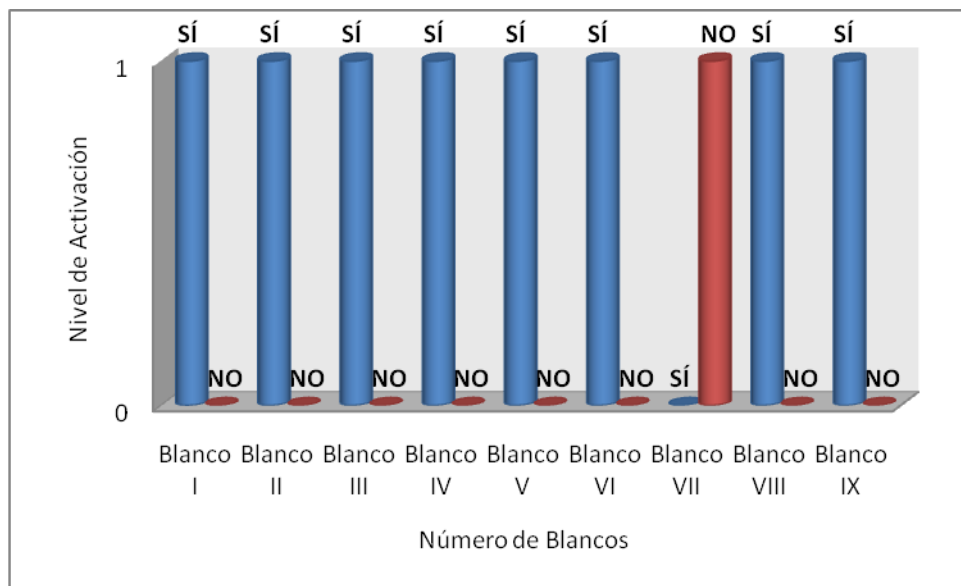
Fuente: El Autor.

Tabla No. 32. Detección de los blancos a 8 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas	Detección del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO		
Blanco I	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco II	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco III	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IV	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco V	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VI	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VIII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
<b>TOTAL</b>											40	5
<b>PORCENTAJE (%)</b>											89%	11%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>											<b>APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 48. Detección de los blancos a 8 cm de distancia de la bobina.



Fuente: El Autor.

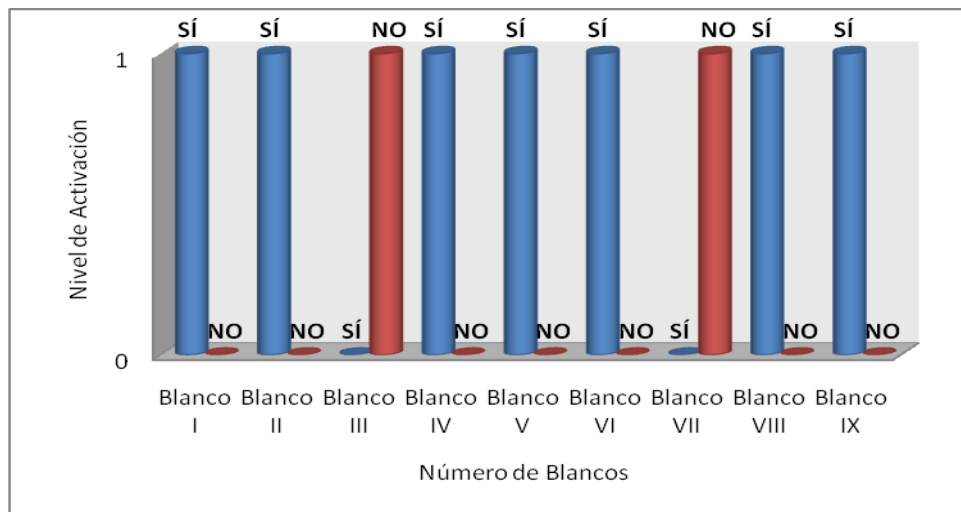
A una distancia de 9 y 10 cm del blanco con la bobina los datos de las pruebas son los mismos.

Tabla No. 33. Detección de los blancos a 9 y 10 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas	Detección del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO		
Blanco I	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco II	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco III	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco V	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VI	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VIII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
<b>TOTAL</b>											35	10
<b>PORCENTAJE (%)</b>											78%	22%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>											<b>APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 49. Detección de los blancos a 9 y 10 cm de distancia de la bobina.



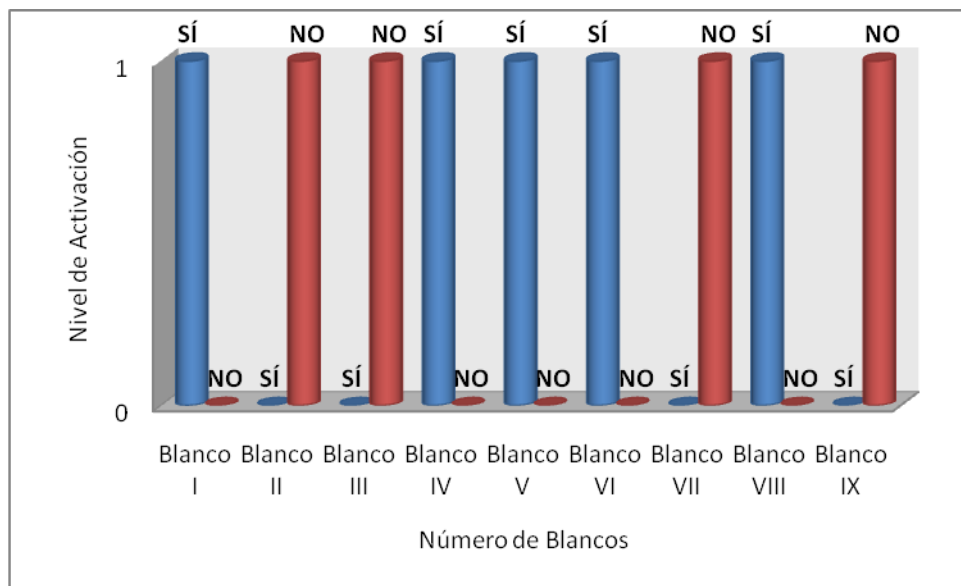
Fuente: El Autor.

Tabla No. 34. Detección de los blancos a 11 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas	Detección del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO		
Blanco I	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco II	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco III	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco V	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VI	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VIII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
<b>TOTAL</b>											25	20
<b>PORCENTAJE (%)</b>											56%	44%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>											<b>NO APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 50. Detección de los blancos a 11 cm de distancia de la bobina.



Fuente: El Autor.

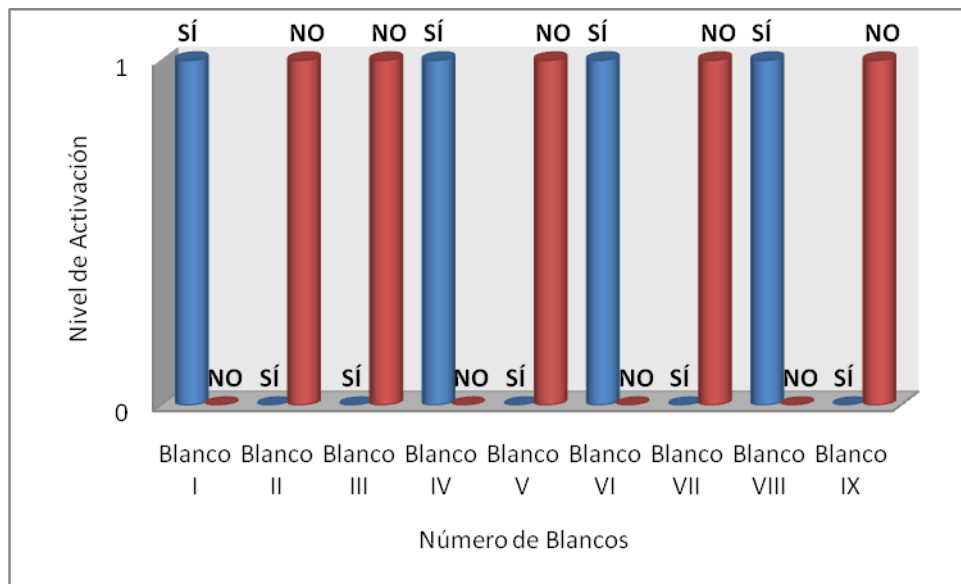


Tabla No. 35. Detección de los blancos a 12 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas	Detección del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO		
Blanco I	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco II	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco III	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco V	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VI	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VIII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
<b>TOTAL</b>											20	25
<b>PORCENTAJE (%)</b>											44%	56%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>											<b>NO APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 51. Detección de los blancos a 12 cm de distancia de la bobina.



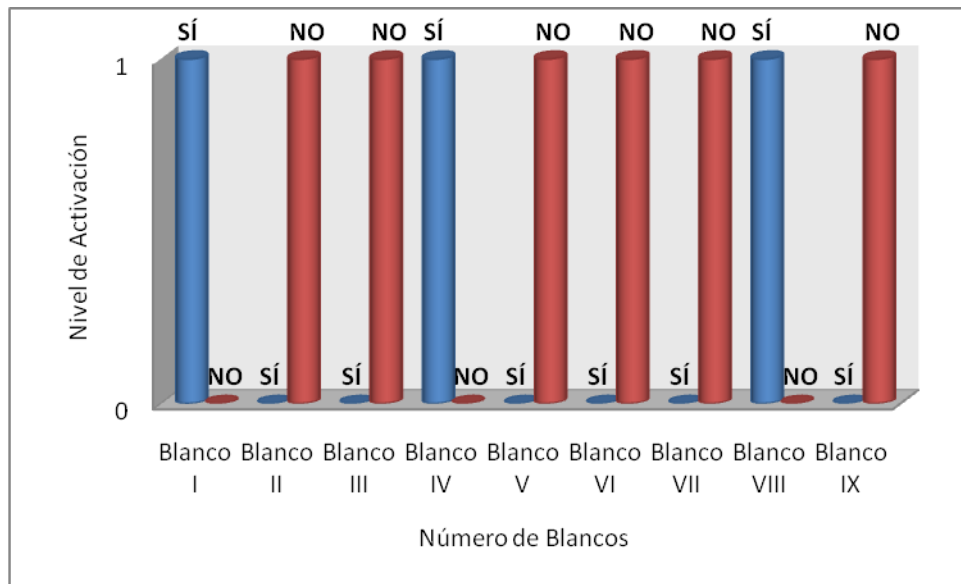
Fuente: El Autor.

Tabla No. 36. Detección de los blancos a 13 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas	Detección del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO		
Blanco I	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco II	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco III	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco V	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VI	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VII	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VIII	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
<b>TOTAL</b>											15	30
<b>PORCENTAJE (%)</b>											33%	67%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>											<b>NO APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 52. Detección de los blancos a 13 cm de distancia de la bobina.



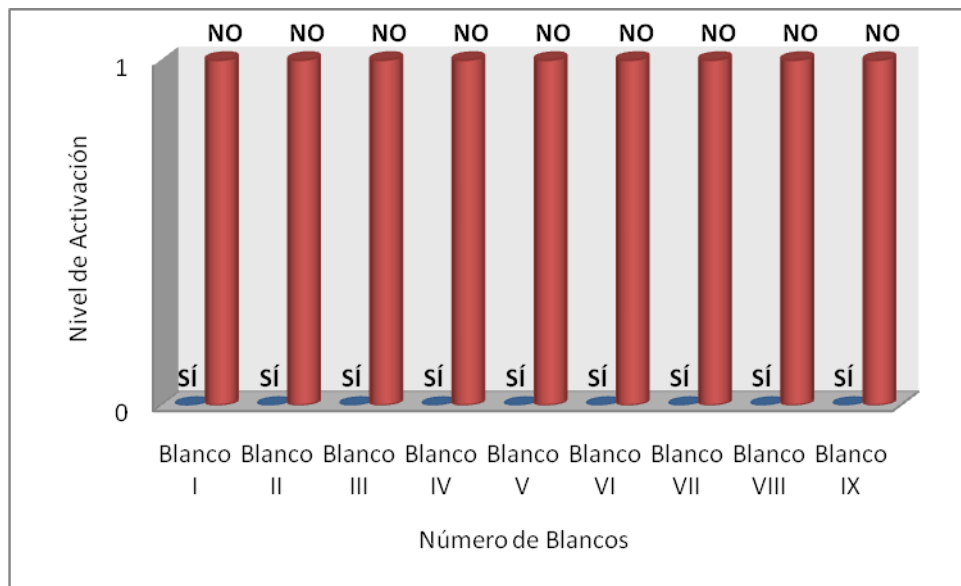
Fuente: El Autor.

Tabla No. 37. Detección de los blancos a 14 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas	Detección del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO		
Blanco I	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco II	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco III	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco V	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VI	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VII	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VIII	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IX	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
<b>TOTAL</b>											0	45
<b>PORCENTAJE (%)</b>											0%	100%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>											<b>NO APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 53. Detección de los blancos a 14 cm de distancia de la bobina.



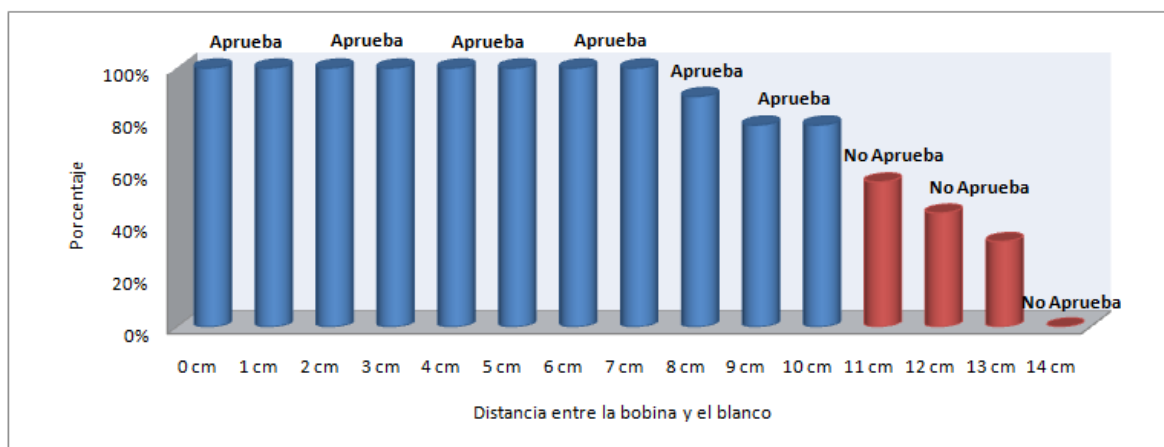
Fuente: El Autor.

Tabla No. 38. Detección general de los blancos a diferentes distancias de la bobina.

Detección del Metal	Blanco I		Blanco II		Blanco III		Blanco IV		Blanco V		Blanco VI		Blanco VII		Blanco VIII		Blanco IX		No. de Aciertos	% de Aciertos	Nivel de Calificación	No. de Fallos	% de Fallos
	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO							
0 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	100%	APRUEBA	0	0%
1 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	100%	APRUEBA	0	0%
2 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	100%	APRUEBA	0	0%
3 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	100%	APRUEBA	0	0%
4 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	100%	APRUEBA	0	0%
5 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	100%	APRUEBA	0	0%
6 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	100%	APRUEBA	0	0%
7 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	100%	APRUEBA	0	0%
8 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	8	89%	APRUEBA	1	11%
9 cm	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	7	78%	APRUEBA	2	22%
10 cm	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	7	78%	APRUEBA	2	22%
11 cm	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	5	56%	NO APRUEBA	4	44%
12 cm	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	4	44%	NO APRUEBA	5	56%
13 cm	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	3	33%	NO APRUEBA	6	67%
14 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0%	NO APRUEBA	9	100%

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 54. Nivel de Calificación de detección a diferentes distancias de la bobina.



Fuente: El Autor.

El detector de metales con la tecnología VLF de 0 cm hasta 7 cm de distancia entre el dispositivo y los blancos tiene el 100% de detección del metal sin tener ningún tipo de error o alteración en la localización del blanco, ya a partir de los 8 cm la efectividad de descubrimiento de los objetos metálicos decrece teniendo un rango máximo de detección hasta de 13 cm en los blancos I, IV y VIII.

Los resultados de las pruebas para cada uno de los blancos fue estable sin importar la rotación del metal, garantizando siempre que el metal abarque toda el área de sensibilidad de detección de la bobina, parte central del dispositivo donde se traslapa la bobina primaria con la bobina secundaria.

### **7.2.5 Resultados de discriminación de metales con tecnología VLF**

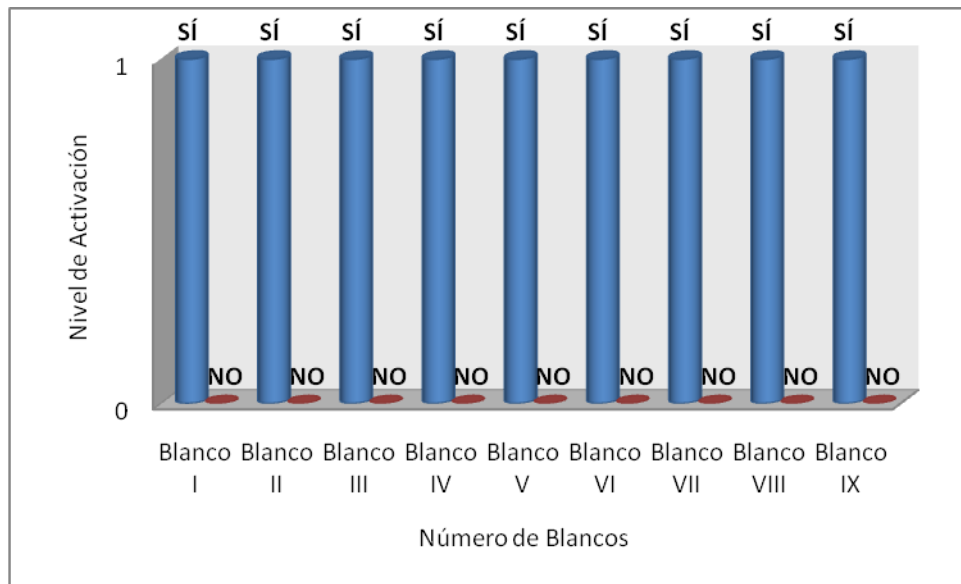
Con tecnología VLF el dispositivo discrimina cada blanco por su nombre ya sea el metal de aluminio, cobre, hierro o plomo según su característica de respuesta al campo inducido y se tienen en cuenta los valores de amplitud y desfase de cada señal para la efectiva clasificación del objeto hallado.

Tabla No. 39. Discriminación de los blancos tangente a la bobina.

No. de Pruebas		Discriminación del Metal										No. de Resultados Positivos	No. de Resultados Negativos
		No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	Metal	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	Aluminio (Al)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco II	Aluminio (Al)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco III	Aluminio (Al)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IV	Cobre (Cu)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco V	Cobre (Cu)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VI	Hierro (Fe)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	Hierro (Fe)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VIII	Plomo (Pb)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco IX	Plomo (Pb)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
<b>TOTAL</b>												45	0
<b>PORCENTAJE (%)</b>												100%	0%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>												<b>APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 55. Discriminación de los blancos tangente a la bobina.



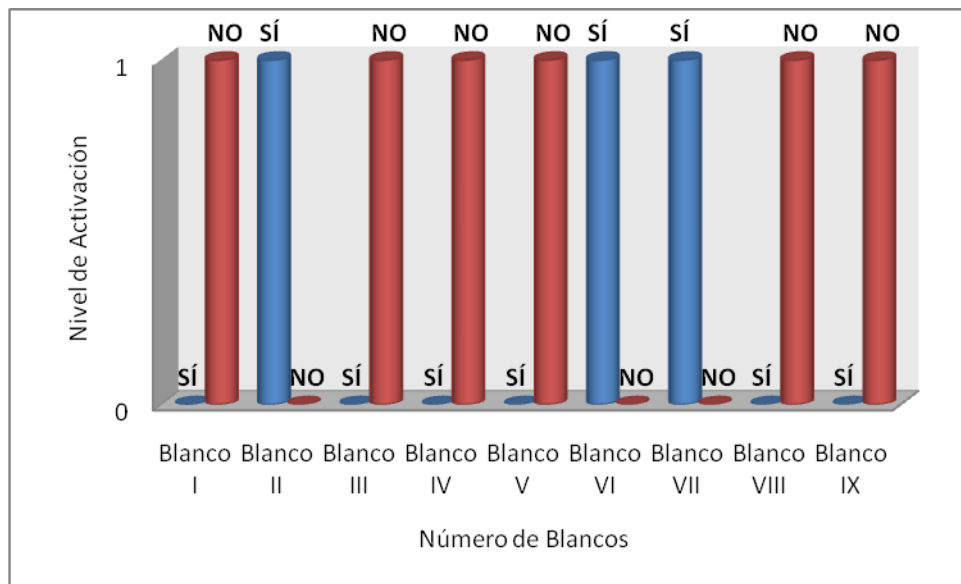
Fuente: El Autor.

Tabla No. 40. Discriminación de los blancos a 1 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas		Discriminación del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
		No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	Metal	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	Aluminio (Al)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco II	Aluminio (Al)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco III	Aluminio (Al)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	Cobre (Cu)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco V	Cobre (Cu)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VI	Hierro (Fe)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	Hierro (Fe)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VIII	Plomo (Pb)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IX	Plomo (Pb)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
<b>TOTAL</b>												15	30
<b>PORCENTAJE (%)</b>												33%	67%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>												<b>NO APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 566. Discriminación de los blancos a 1 cm de distancia de la bobina.



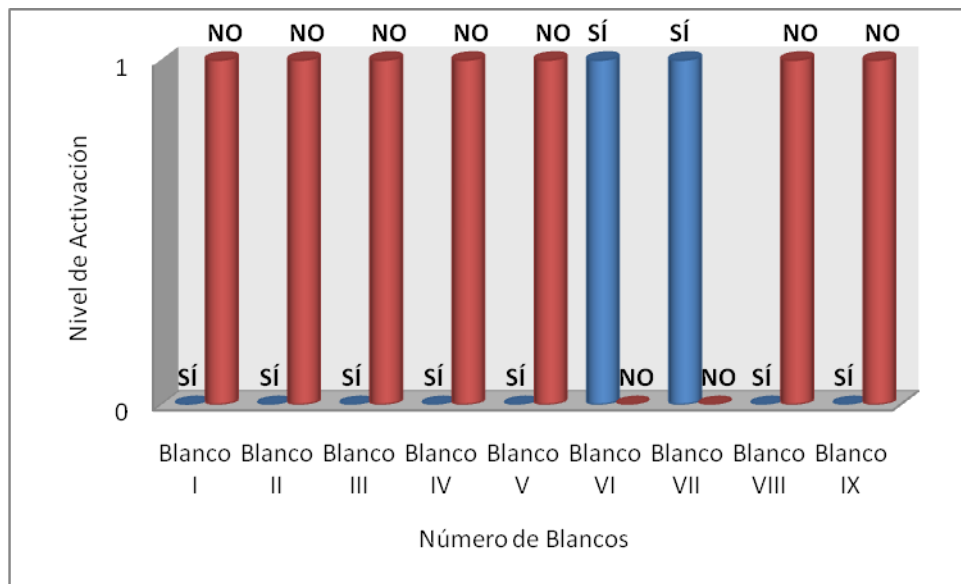
Fuente: El Autor.

Tabla No. 41. Discriminación de los blancos desde 2 cm hasta 5 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas		Discriminación del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
		No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	Metal	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	Aluminio (Al)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco II	Aluminio (Al)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco III	Aluminio (Al)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	Cobre (Cu)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco V	Cobre (Cu)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VI	Hierro (Fe)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	Hierro (Fe)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VIII	Plomo (Pb)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IX	Plomo (Pb)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
<b>TOTAL</b>												10	35
<b>PORCENTAJE (%)</b>												22%	78%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>												<b>NO APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 57. Discriminación de los blancos desde 2 cm hasta 5 cm de distancia de la bobina.



Fuente: El Autor.

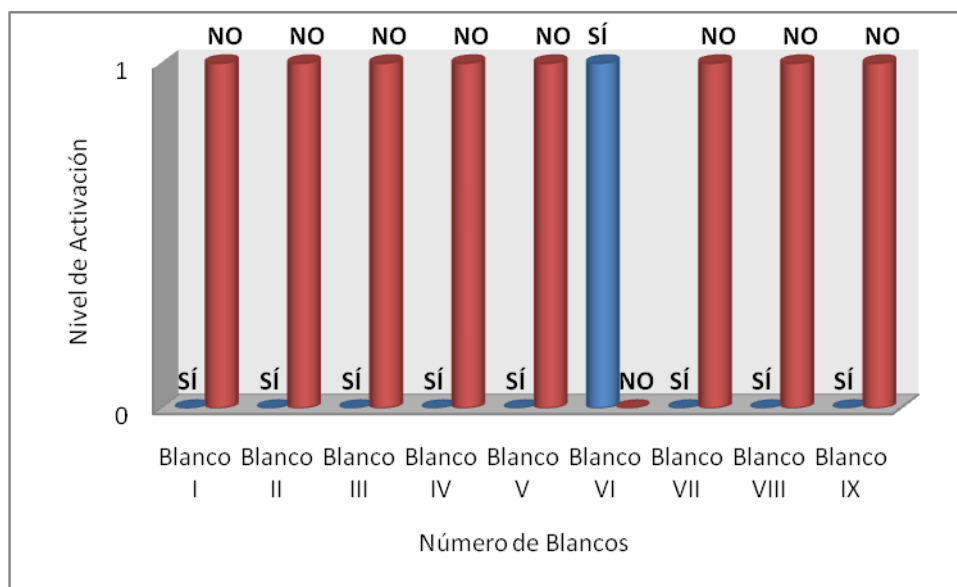


Tabla No. 42. Discriminación de los blancos desde 6 cm hasta 12 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas		Discriminación del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
		No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	Metal	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	Aluminio (Al)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco II	Aluminio (Al)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco III	Aluminio (Al)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	Cobre (Cu)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco V	Cobre (Cu)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VI	Hierro (Fe)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0
Blanco VII	Hierro (Fe)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VIII	Plomo (Pb)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IX	Plomo (Pb)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
<b>TOTAL</b>												5	40
<b>PORCENTAJE (%)</b>												11%	89%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>												<b>NO APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 58. Discriminación de los blancos desde 6 cm hasta 12 cm de distancia de la bobina.



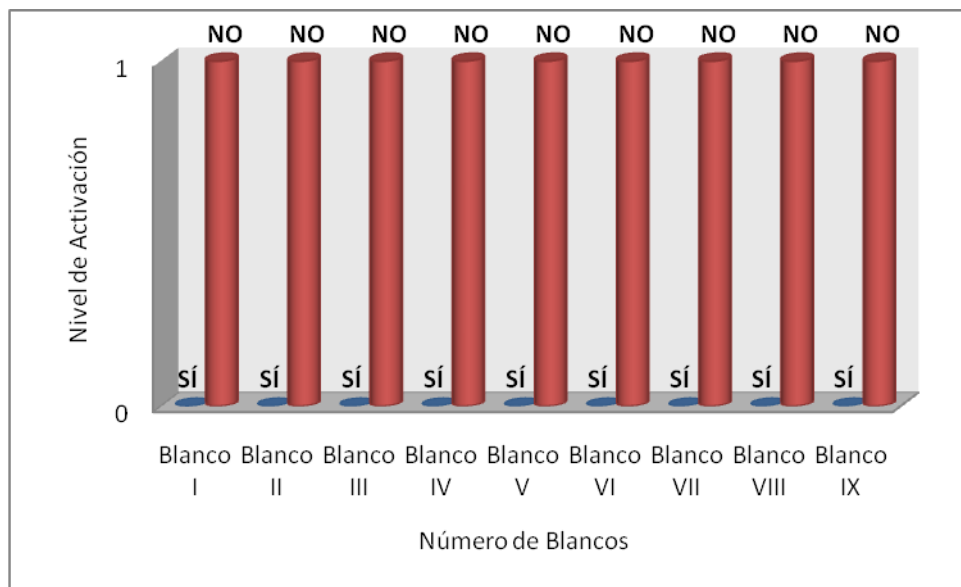
Fuente: El Autor.

Tabla No. 43. Discriminación de los blancos a 13 cm de distancia de la bobina.

No. de Pruebas		Discriminación del Metal										No. de Aciertos	No. de Fallos
		No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5			
Blancos	Metal	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO		
Blanco I	Aluminio (Al)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco II	Aluminio (Al)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco III	Aluminio (Al)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IV	Cobre (Cu)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco V	Cobre (Cu)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VI	Hierro (Fe)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VII	Hierro (Fe)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco VIII	Plomo (Pb)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
Blanco IX	Plomo (Pb)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5
<b>TOTAL</b>												0	45
<b>PORCENTAJE (%)</b>												0%	100%
<b>NIVEL DE CALIFICACIÓN</b>												<b>NO APRUEBA</b>	

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 59. Discriminación de los blancos a 13 cm de distancia de la bobina.



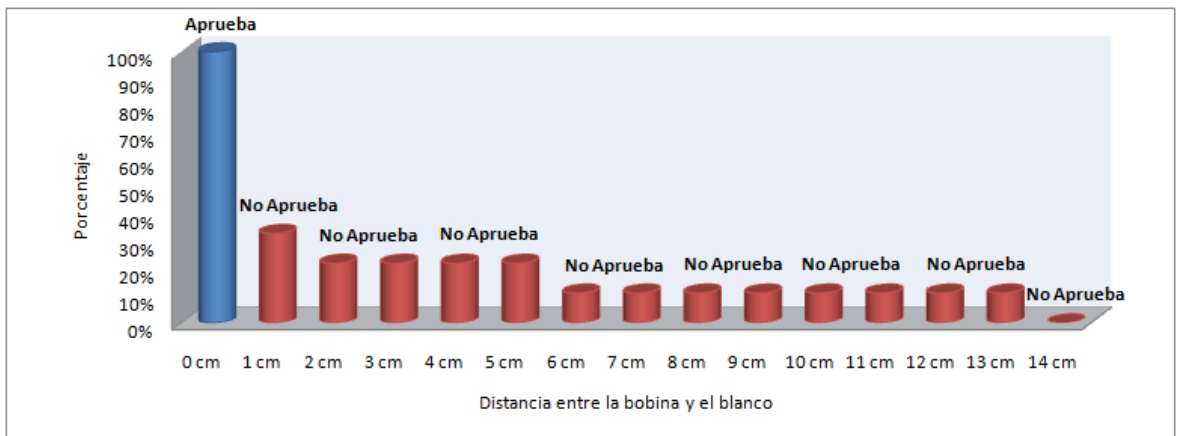
Fuente: El Autor.

Tabla No. 44. Discriminación general de los blancos a diferentes distancias de la bobina.

Discriminación del Metal	Blanco I		Blanco II		Blanco III		Blanco IV		Blanco V		Blanco VI		Blanco VII		Blanco VIII		Blanco IX		No. de Aciertos	% de Aciertos	Nivel de Calificación	No. de Fallos	% de Fallos
	Aluminio (Al)				Cobre (Cu)				Hierro (Fe)				Hierro (Fe)										
	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO							
0 cm	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	9	100%	APRUEBA	0	0%
1 cm	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	3	33%	NO APRUEBA	6	67%
2 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	2	22%	NO APRUEBA	7	78%
3 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	2	22%	NO APRUEBA	7	78%
4 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	2	22%	NO APRUEBA	7	78%
5 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	2	22%	NO APRUEBA	7	78%
6 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	11%	NO APRUEBA	8	89%
7 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	11%	NO APRUEBA	8	89%
8 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	11%	NO APRUEBA	8	89%
9 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	11%	NO APRUEBA	8	89%
10 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	11%	NO APRUEBA	8	89%
11 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	11%	NO APRUEBA	8	89%
12 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	11%	NO APRUEBA	8	89%
13 cm	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0%	NO APRUEBA	9	100%

Fuente: El Autor.

Gráfico No. 60. Nivel de Calificación de discriminación a diferentes distancias de la bobina.



Fuente: El Autor.

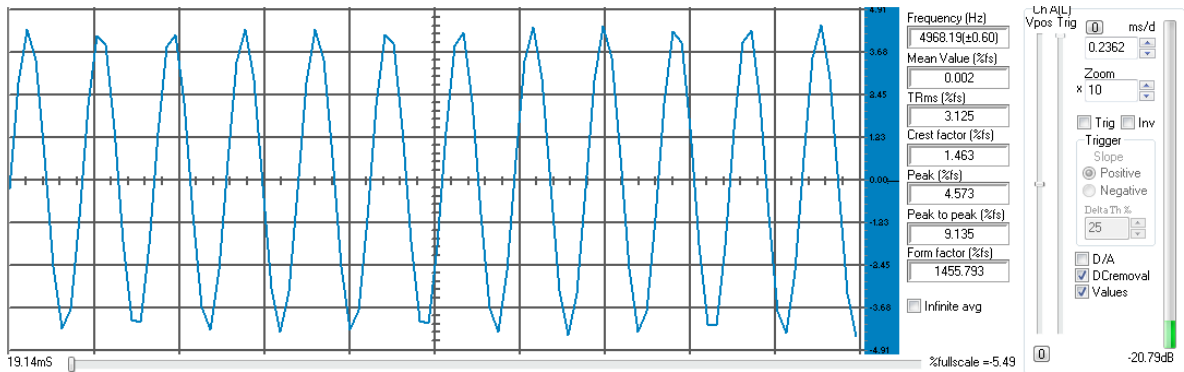
La discriminación con el modulo VLF de los blancos tangente a la bobina es 100% exitoso en todos los casos sin generar ningún tipo de error en la clasificación de los metales, a partir de 1 cm de distancia entre el metal y bobina el dispositivo disminuye significativamente su eficacia con el 33% con solo la discriminación de los blancos II, VI y VII.

### **7.2.6 Señal y Espectro en Frecuencia de los metales con tecnología VLF**

Para cada uno de los resultados del detector con tecnología VLF se usó el analizador visual VA 2010 NE-XT 2.4 que es un software profesional en tiempo real, que permite transformar el PC en un conjunto completo de instrumentos de medición utilizando la tarjeta de sonido del PC; a continuación se ilustra la señal con zoom x10 y los parámetros de amplitud en volts para el eje vertical, a una frecuencia aproximada de 5 KHz, y valor pico, valor RMS y valor pico a pico. También se visualiza su respectivo espectro en frecuencia en escala logarítmica con el eje X en Hz y el eje Y en dB con pasos a 5 dB, el espectro se encuentra filtrado con un pasa-banda de 4800 KHz a 5200 KHz, frecuencia de análisis en los resultados de cada uno de los metales detectados.

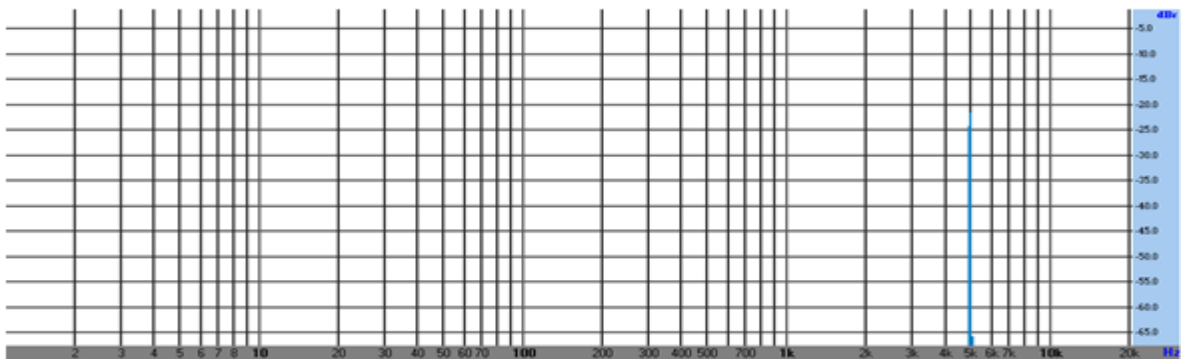
Los valores de los gráficos No 61 al No 80 fueron tomados con los blancos tangentes al dispositivo de detección, no se realizó análisis visual de la señal a mayor distancia ya que se comprobó anteriormente que el detector con tecnología VLF a partir de 1 cm de longitud entre el metal y la bobina de detección no es eficiente.

Gráfico No. 61. Señal de la bobina en vacío.



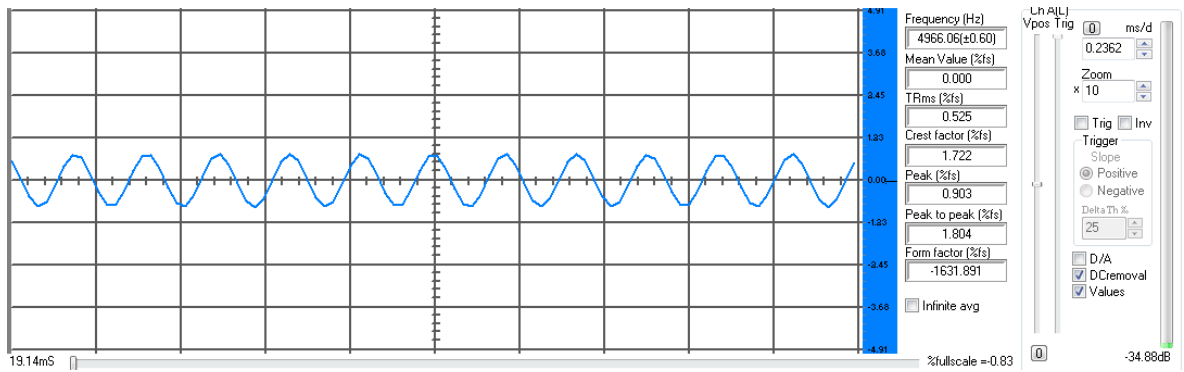
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 62. Espectro de la señal de la bobina en vacío.



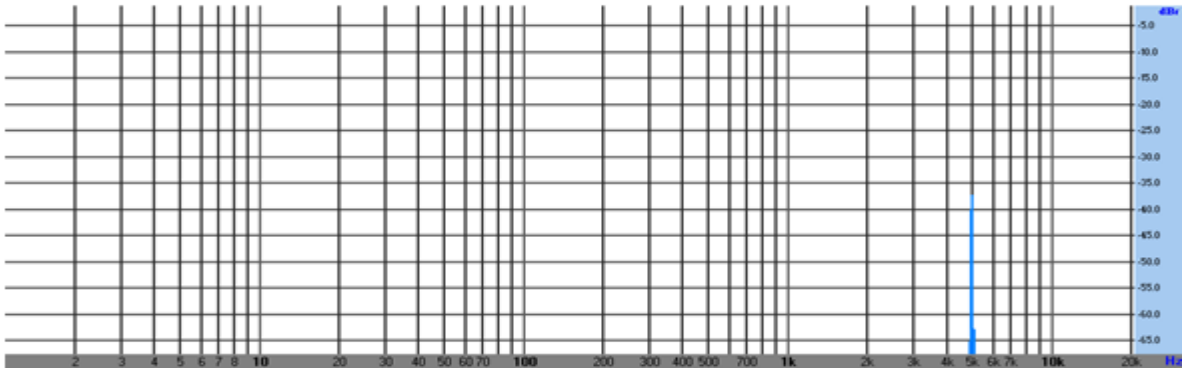
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 63. Señal de respuesta con el blanco I.



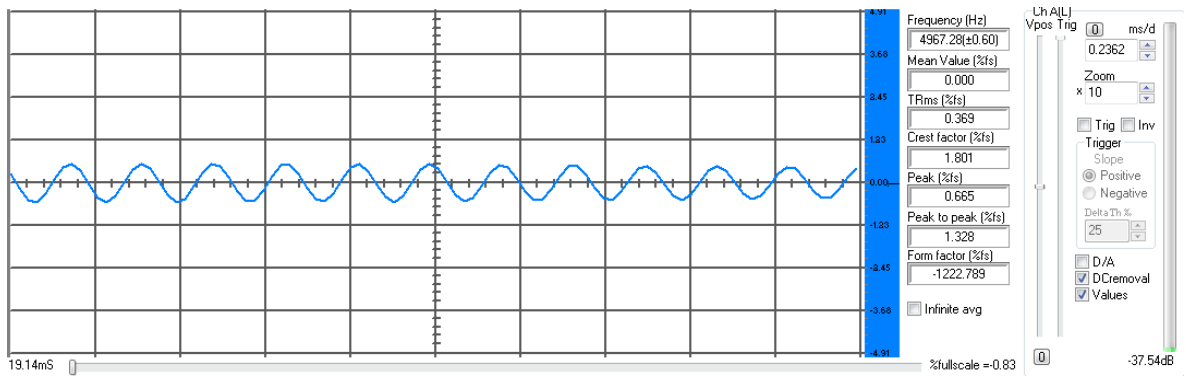
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 64. Espectro de la señal de respuesta con el blanco I.



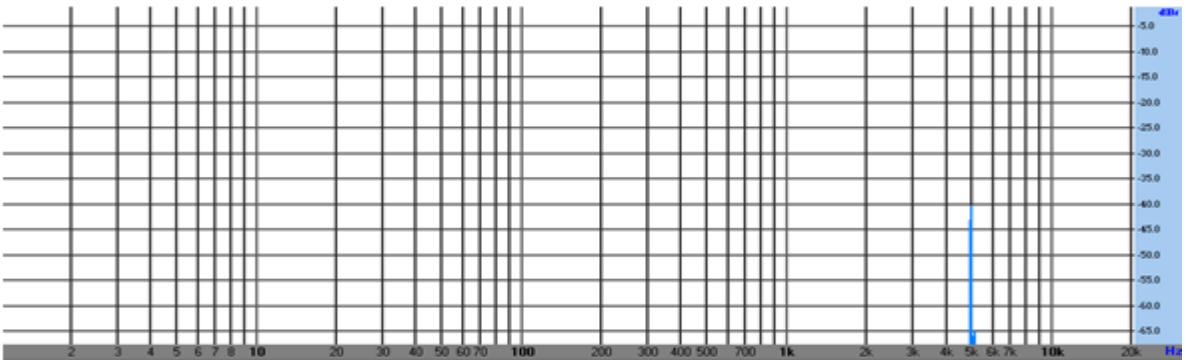
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 65. Señal de respuesta con el blanco II.



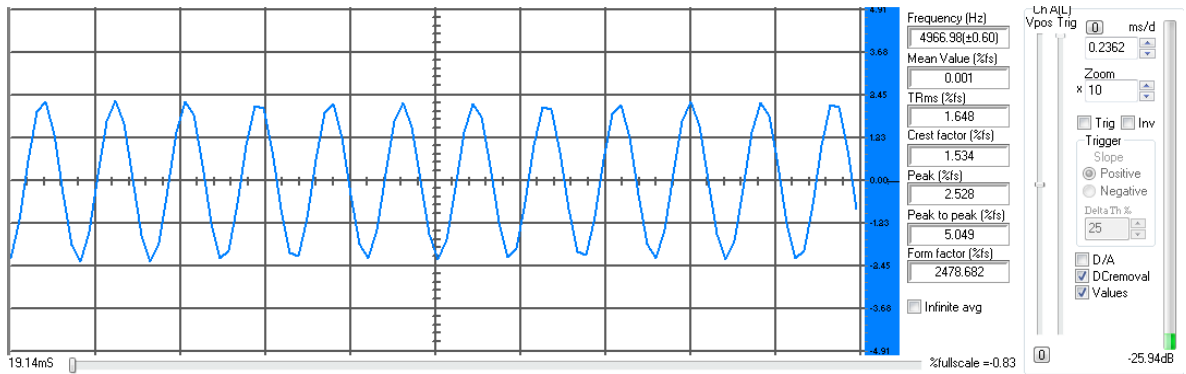
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 66. Espectro de la señal de respuesta con el blanco II.



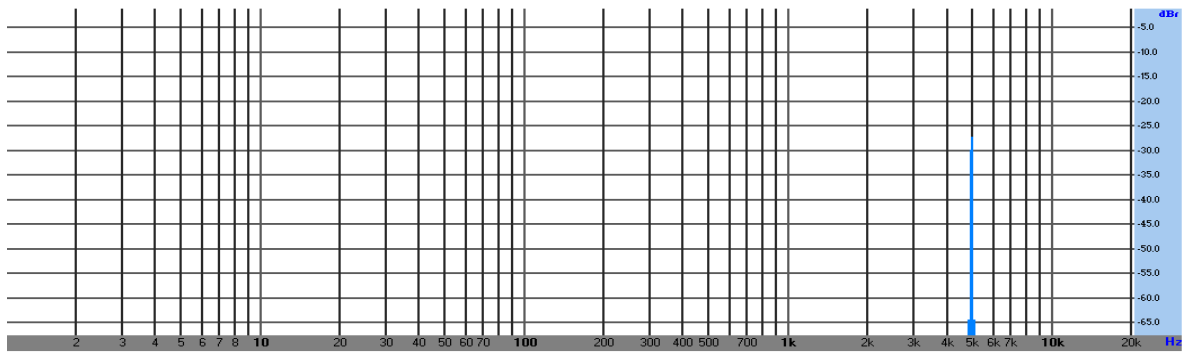
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 67. Señal de respuesta con el blanco III.



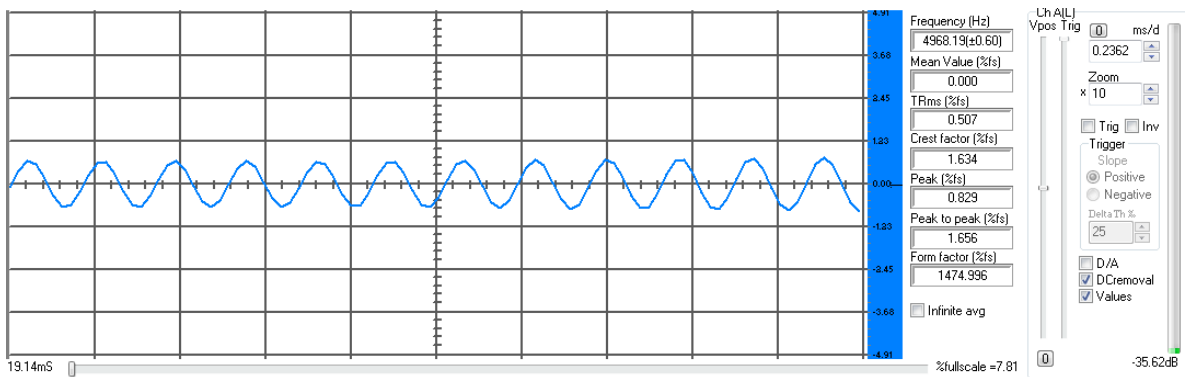
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 68. Espectro de la señal de respuesta con el blanco III.



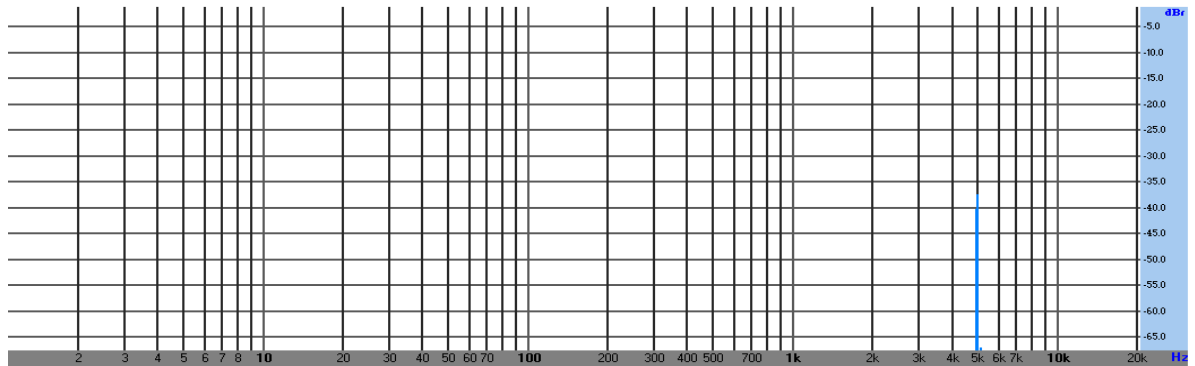
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 69. Señal de respuesta con el blanco IV.



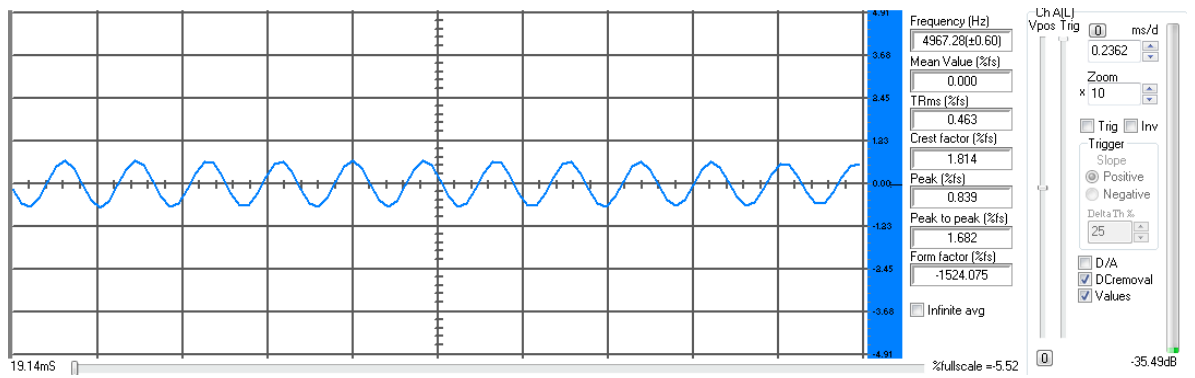
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 70. Espectro de la señal de respuesta con el blanco IV.



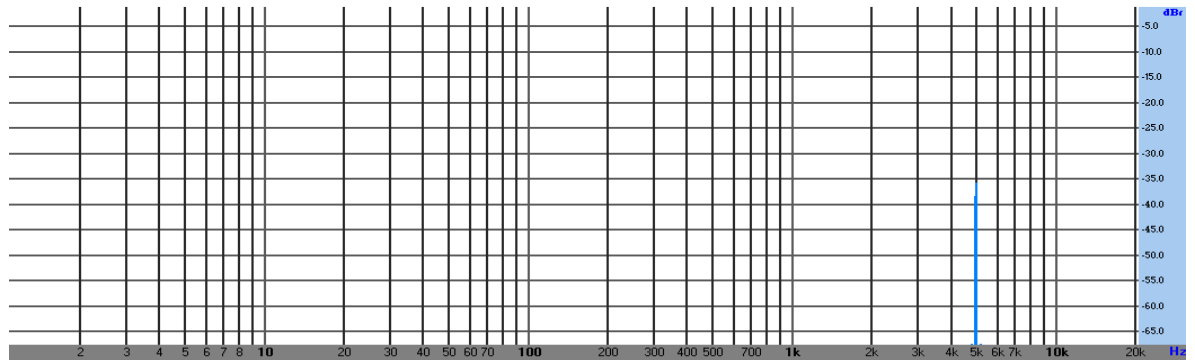
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 71. Señal de respuesta con el blanco V.



Fuente: El Autor.

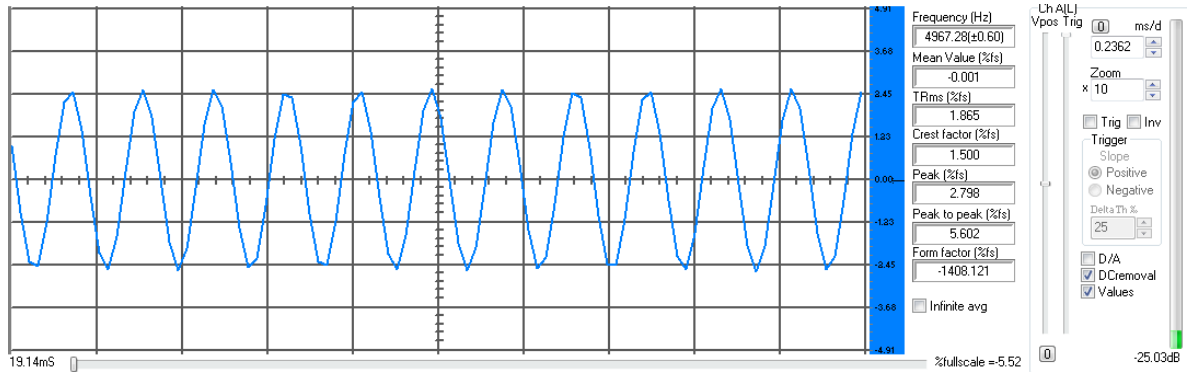
Gráfico No. 72. Espectro de la señal de respuesta con el blanco V.



Fuente: El Autor.

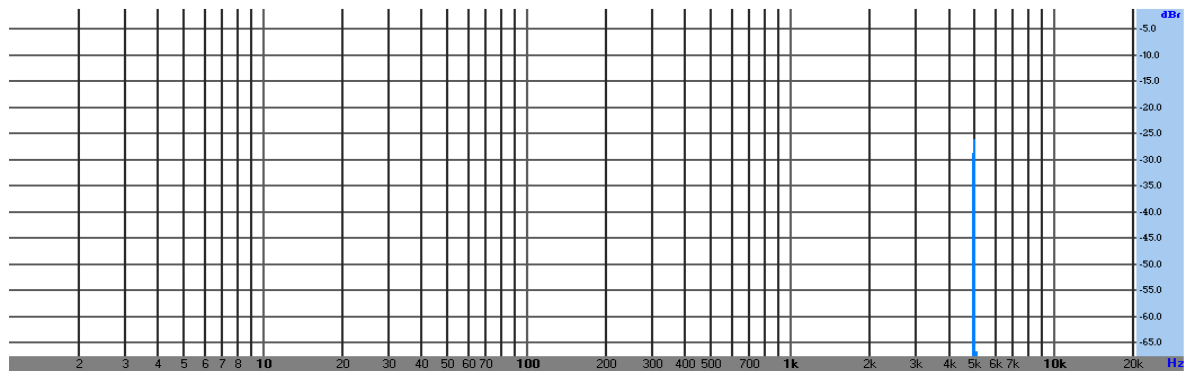


Gráfico No. 73. Señal de respuesta con el blanco VI.



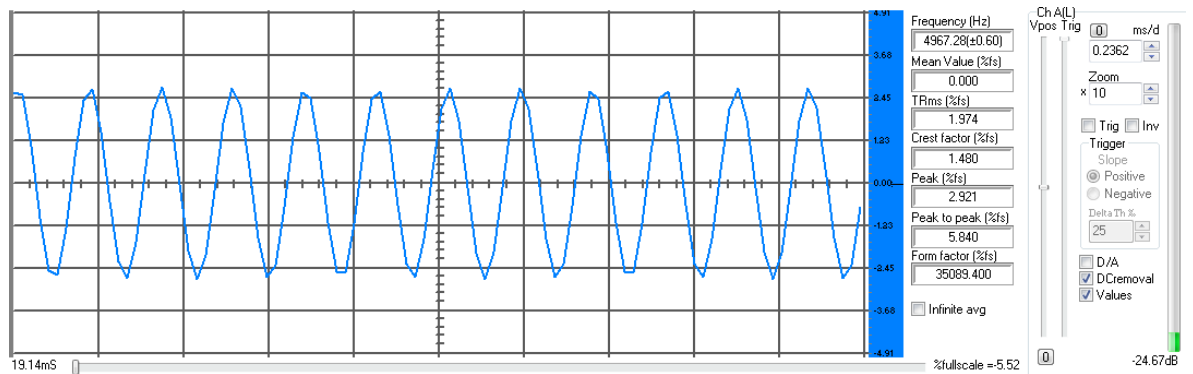
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 74. Espectro de la señal de respuesta con el blanco VI.



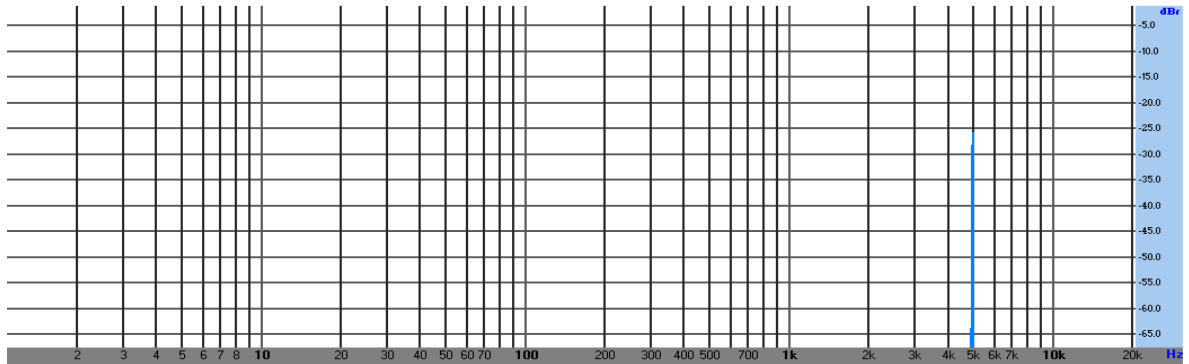
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 75. Señal de respuesta con el blanco VII.



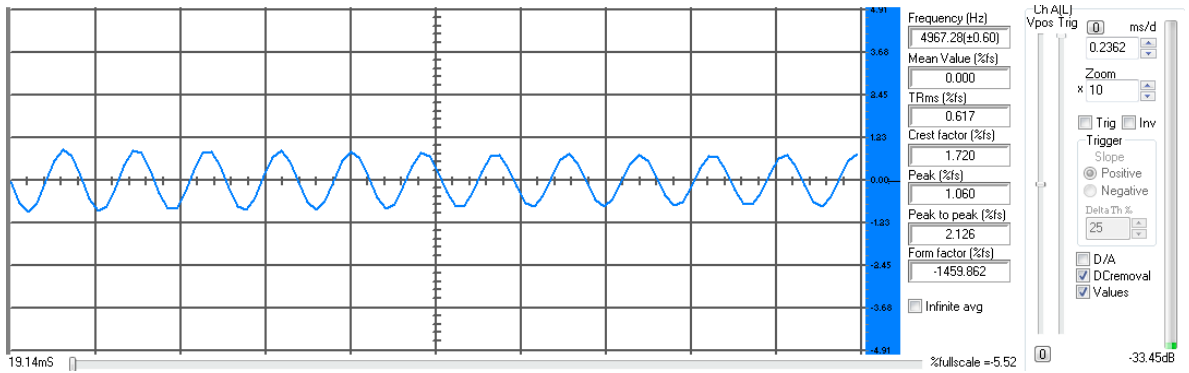
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 76. Espectro de la señal de respuesta con el blanco VII.



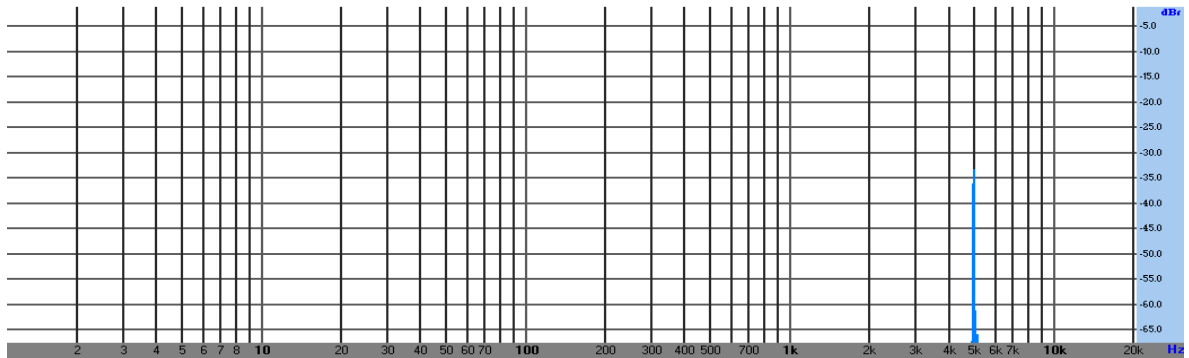
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 77. Señal de respuesta con el blanco VIII.



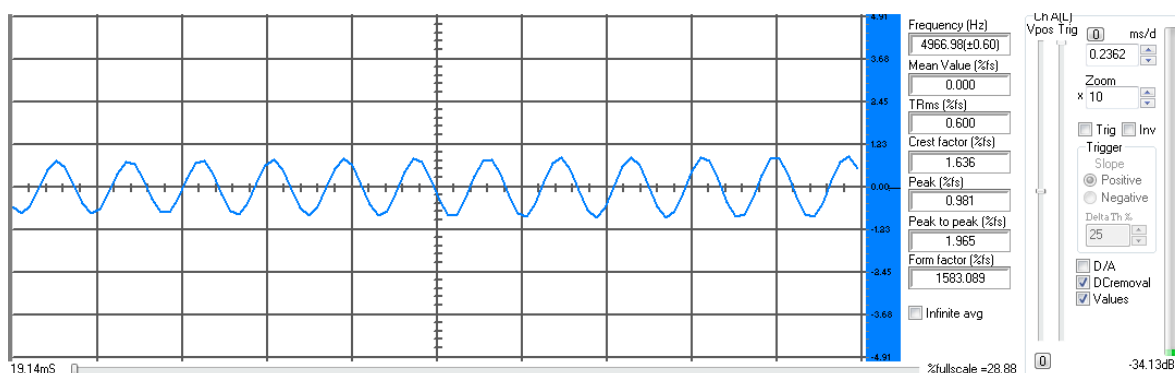
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 78. Espectro de la señal de respuesta con el blanco VIII.



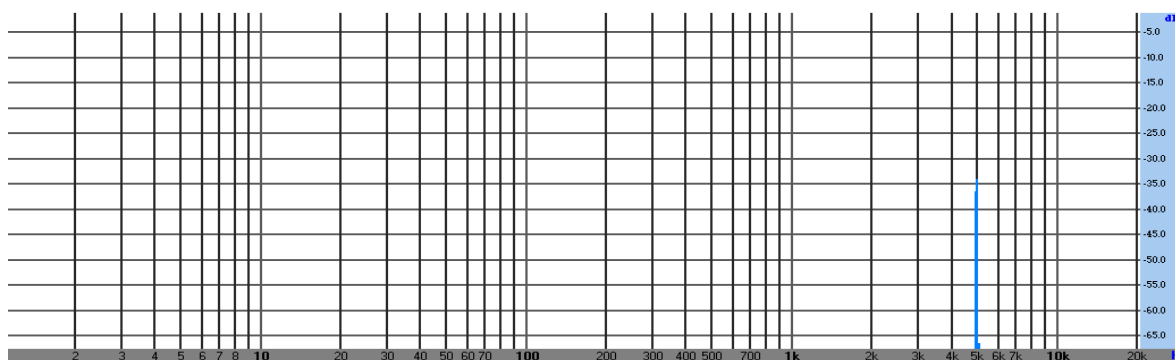
Fuente: El Autor.

Gráfico No. 79. Señal de respuesta con el blanco IX.



Fuente: El Autor.

Gráfico No. 80. Espectro de respuesta con el blanco IX.



Fuente: El Autor.

De acuerdo con los datos logrados por el analizador visual de las señales de respuesta al campo magnético inducido y el espectro en frecuencia de cada blanco se concluye que el metal que mayor atenúa la señal en amplitud es el blanco II, aluminio de dimensiones 10 x 20 cm, logrando disminuir a 0,665 v pico la amplitud de la señal de respuesta y a -37,540 dB el espectro en frecuencia.

Un análisis completo y comparación de cada uno de los resultados de los metales obtenidos por el analizador visual se pueden observar en la tabla No. 43 que se especifica a continuación:

Tabla No. 45. Valores de los resultados con analizador visual.

Blancos	Metal	Voltaje RMS (v)	Voltaje Pico (v)	Voltaje Pico a Pico (v)	dB
En Vacío	Sin Metal	3,125	4,573	9,135	-20,790
Blanco I	Aluminio (Al)	0,525	0,903	1,804	-34,880
Blanco II	Aluminio (Al)	0,369	0,665	1,328	-37,540
Blanco III	Aluminio (Al)	1,648	2,528	5,049	-25,940
Blanco IV	Cobre (Cu)	0,507	0,829	1,656	-35,620
Blanco V	Cobre (Cu)	0,463	0,839	1,682	-35,490
Blanco VI	Hierro (Fe)	1,865	2,798	5,602	-25,030
Blanco VII	Hierro (Fe)	1,974	2,921	5,840	-24,670
Blanco VIII	Plomo (Pb)	0,617	1,060	2,126	-33,450
Blanco IX	Plomo (Pb)	0,600	0,981	1,965	-34,130

Fuente: El Autor.

La amplitud de la señal de respuesta ante la señal del bobinado emisor es alterado de acuerdo a la distancia que se encuentre el detector con el metal, afectando solo la discriminación, por lo que la detección permanece estable si la distancia entre el detector y el blanco no sobre pasa los 7 cm de distancia.

### 7.3 COSTO DEL PROYECTO DEL DETECTOR DE METALES

Tabla No. 46. Costo del Proyecto del Detector de Metales.

Concepto	Costo (\$) Pesos Colombianos	Responsable
Elaboración del Anteproyecto	\$100,000.00	Jonathan García Díaz. Estudiante de Ingeniería Electrónica. Universidad Tecnológica de Pereira.
Papelería en general	\$210,000.00	
Servicio de internet por 12 meses	\$360,000.00	
Inspección de campo	\$190,000.00	
Transporte y alimentación	\$350,000.00	
Prototipo del dispositivo detector de metales	\$460,000.00	
Elaboración del Proyecto	\$280,000.00	
<b>Costo Total</b>	<b>\$1,950,000.00</b>	

Fuente: El Autor.

## **CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **8.1 CONCLUSIONES**

- Inicialmente se proporciona una corriente alterna a la bobina de transmisión generando un campo magnético que posteriormente es leído por la bobina receptora. Si un objeto de metal se encuentra dentro de la gama de las líneas del campo magnético, dicho metal origina una respuesta que es detectada por la bobina de recepción identificando un cambio tanto en amplitud y fase de la señal recibida. La cantidad de cambio de amplitud y modificación de la fase es una indicación para la detección y discriminación del metal.
- La bobina es sin duda el más grande consumidor de corriente en el circuito. En la tecnología PI los pulsos que pueden alcanzar varios amperios se generan por el cambio de encendido y apagado de la bobina a través del mosfet.
- La detección del metal con tecnología PI se puede realizar a distancias no mayores a 2 cm entre la bobina y el objeto, y la discriminación entre los diferentes tipos de metales ferromagnéticos y no ferromagnéticos se realiza ubicando la bobina cerca al blanco siendo más difícil la clasificación por su respuesta al pulso inducido.
- El detector con tecnología VLF detecta los blancos hasta 7 cm de distancia de separación entre el metal y la bobina del dispositivo, para la discriminación de

cada uno de los metales por su nombre específico se debe de realizar cerca a la bobina de lo contrario la discriminación no es confiable.

- Para la discriminación de los metales detectados es necesario ubicar la bobina del detector cerca al metal para hacer lectura adecuada y así clasificar de manera efectiva, sin errores, ni interferencias de otros medios cercanos; para el caso del modulo PI discriminar el metal en ferromagnético o no ferromagnético y en el modulo VLF determinar el metal encontrado como el aluminio, cobre, hierro o plomo.
- La tecnología VLF en el detector de metales es superior en desempeño y eficiencia a comparación de la tecnología PI, ya que con el modulo VLF se logra una detección de metales a distancias de 7 cm de separación entre el dispositivo y el blanco, mientras que con el modulo PI solo se logra máximo a 2 cm de distancia, y para la discriminación de los metales el detector VLF logra identificar a cada uno de los metales por su nombre de acuerdo a cada una de las características de respuesta, por el contrario el detector PI solo clasifica los blancos en metales ferromagnéticos y no ferromagnéticos.
- La construcción del dispositivo de detección de metales ideal para ser utilizado eficientemente en el Relleno Sanitario La Glorita, debe ser menos artesanal y ser elaborado bajo la modalidad de producción en serie, con un mejor rendimiento y precisión, garantizando de esta manera un funcionamiento y una simetría óptimas para su uso en la disposición final de residuos sólidos cubriendo una mayor área de identificación. Esto brindaría una mayor estabilidad al sistema y por lo tanto una mejor detección y discriminación de los metales.
- El dispositivo presenta una mejor detección y una discriminación precisa si el blanco es plano u homogéneo, con un área mayor de 10 cm x 20 cm, área del metal de menor tamaño en los blancos a detectar.

- Se observó que el campo inducido depende principalmente de la forma, distribución y ubicación del material en las bobinas detectoras más que del peso o concentración del mismo, el mejor resultado se obtiene con objetos cuya superficie generen un campo en donde no haya interferencia destructiva, aleaciones o mezclas con otros materiales y las líneas de campo irradiadas sean perpendiculares a la superficie censada.
- Para el aumento en desempeño y precisión del detector aparte de tener en cuenta los parámetros de amplitud y desfase se pueden agregar otros tipos de características de los materiales como lo son su forma y/o área. Algunas modificaciones en el área de las bobinas podrían mejorar el desempeño de detección de metales.
- Con el software implementado del detector se puede tener respuesta en tiempo real en la localización e identificación de los metales hallados, sin tener margen de errores por tiempo de respuesta del campo del material.
- Al hardware del detector de metales se le pueden realizar modificaciones para convertirlo en un detector aislado de cualquier perturbación del medio u otros campos magnéticos que lo puedan alterar e inducirlo a errores
- El detector puede ser más práctico, al mejorar su etapa de alimentación, al emplear por ejemplo un conjunto de baterías recargables para disponer del sensor de forma portátil.
- Dada la calificación anterior, se concluye que los resultados obtenidos son confiables y por tanto el Dispositivo de Detección de Metales cumple las exigencias necesarias para ser implementado en la Disposición Final de los Residuos Sólidos de la ciudad de Pereira.

## 8.2 RECOMENDACIONES

- Un proyecto futuro podría desarrollar la aplicación como un sistema embebido que brinde más opciones de estudio de las señales obtenidas.
- Con base a las características y formas de los diferentes metales se puede incorporar un sistema de identificación por imágenes al dispositivo incrementando la eficiencia y sensibilidad del sensor.
- Modificaciones en el diseño del circuito y de las bobinas pueden mejorar el rango de detección, aumentado el área sensible de localización y la distancia de ubicación, cubriendo más superficie de barrido de búsqueda y siendo estable la señal de respuesta de los materiales encontrados.
- El detector puede ser integrado en una plataforma fija inferior y a su vez en la parte superior una banda transportadora de residuos con componentes mecánicos que al momento de detectar el metal sea separado y discriminado en contenedores específicos, evitando manipulación humana al dispositivo, siendo gran parte controlado por el circuito del detector de metales.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Atesa de Occidente S. A. ESP. Pereira. Febrero 2011.
- [2] Nedelkoska T, Doran P. Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining. *Minerals Engineer* 13: 549-561. June 2000.
- [3] Acurio, Rossin. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América latina y el Caribe. BMD/OPS: Washington. Mayo 2003.
- [4] Pedraza, Gustavo. Impacto del Plan Maestro de Residuos reciclables en la ciudad de Bogotá. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Septiembre 2011.
- [5] Cañadillas González, Francisco. Detectores de metales. México. Diciembre 2006.
- [6] Reyes, Carlos A., Microcontroladores PIC, Gráficas Ayerve C.A. Junio 2006.
- [7] Gao Ping y Collins Leslie; A Comparison of Optimal and Suboptimal Processors for Classification of Buried Metal Objects; *IEEE Signal processing letters*, Vol. 6, No. 8, August 1999.
- [8] Gao Ping y Collins Leslie, Garber Philip M, Geng Norbert, y Carin Lawrence; Classification of Landmine-Like Metal Targets Using Wideband Electromagnetic Induction; *IEEE Transactions on geosciences and remote sensing*, Vol. 38, No. 3, May 2000.

[9] Department of Defense Humanitarian Demining Research and Development Program; Handheld Metal Detectors: Nicaraguan Field Test report; DoD Humanitarian Demining Research and Development Program, October 2001.

[10] Coronado Javier, Rizo Javier, Campo Camilo; Sistema Móvil para la Detección y Localización de Minas Antipersonales; Tesis de pregrado para Ingeniería Electrónica; Pontificia Universidad Javeriana, Diciembre 2002.

[11] Javier Ramírez Gómez, Abogado de la Universidad del Norte, Régimen Legal del Servicio Público Domiciliario de Aseo, Revista de Derecho, Universidad del Norte, 23: 213-239, Septiembre 2005, [En línea] disponible en: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/derecho/article/download/2542/1663> (Consultado el 20 de Agosto de 2012).

[12] Cochram, W. G. Técnicas de muestreo. Compañía Editorial Continental, S.A. México. Julio 1999.

[13] Acurio G, Rossin A, Texeira P.F, Zepeda F. Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe. Banco Mundial. Organización Panamericana de la Salud (OPS). Serie Ambiental No 18. No ENV97-107 BID. 2ª Edición, 18, 62. Abril 1998.

[14] Alcaldía mayor de Bogotá D.C – UEASP, Decreto 312 de 2006, por el cual se adopta El Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos.

[15] Bernal T, Cesar Augusto. Metodología de la investigación para administración y economía. Prentice Hall, Marzo 1999.

[16] Integral. Estudio para la recuperación ambiental de la zona de Moravia en el municipio de Medellín – informe final., Mayo I, vol. 1-3, Centro de documentación, Área Metropolitana del Valle del Aburrá. Medellín, Colombia. Enero 2000.

[17] Martínez, H. Sabogal, L. Informe final del grupo de Geotecnia. En: Estudio piloto para la recuperación del Morro de Moravia, Fase I. Informe final de Proyecto. Escuela de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Abril 2009.

[18] x-robotics, [En línea] disponible en:  
<http://www.x-robotics.com/rutinas.htm> (Consultado el 12 de Junio de 2012).

[19] Electroindustria.com, [En línea] disponible en:  
[http://www.electroindustria.com/nuevo/aplicacion\\_info.asp?id=577](http://www.electroindustria.com/nuevo/aplicacion_info.asp?id=577)  
(Consultado el 16 de Julio de 2012).

[20] DoD Humanitarian Demining Research and Development Program, [En línea] disponible en: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA458679>  
(Consultado el 4 de Julio de 2012).

[21] Técnicas de Muestreo para Auditorías, [En línea] disponible en:  
[http://www.agn.gov.ar/doc-tecnicos/Tecnicas\\_de\\_muestreo\\_para\\_auditorias.pdf](http://www.agn.gov.ar/doc-tecnicos/Tecnicas_de_muestreo_para_auditorias.pdf)  
(Consultado el 15 de Abril de 2013).

[22] Metal detector having digital signal processing, United States Patent 4709213, [En línea] disponible en: <http://patent.ipexl.com/US/4709213.html>  
(Consultado el 11 de Septiembre de 2012).

[23] Pulse induction metal detector with DSP, [En línea] disponible en:  
[http://www.lammertbies.nl/electronics/PI\\_metal\\_detector.html](http://www.lammertbies.nl/electronics/PI_metal_detector.html)  
(Consultado el 24 de Septiembre de 2012).

# ANEXOS

## Anexo No. 1. Formato de la Encuesta

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

### ENCUESTA

**OBJETIVO:** Determinar el nivel de aceptación por parte de las Empresas Clientes del Relleno Sanitario La Glorita, del dispositivo de detección de metales pesados en la disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Pereira.

#### RAZÓN SOCIAL

---

1. ¿Qué tiempo lleva como cliente del Relleno Sanitario La Glorita?

Menos de un año	
Entre 1 y 3 años	
Entre 3 y 6 años	
Entre 6 y 10 años	
Más de 10 años	

2. ¿Qué cantidad de residuos sólidos deposita en el Relleno Sanitario mensualmente?

Menos de 1 Ton	
Entre 1 y 3 Ton	
Entre 3 y 5 Ton	
Más de 5 Ton	

3. ¿Considera que el reciclaje es un factor de suma importancia para el cuidado del medio ambiente?

Sí	
No	
Ns / Nr	

4. ¿Sabe qué son los metales pesados?

Sí	
No	
Ns / Nr	

5. ¿Tiene conocimiento sobre la presencia de metales pesados en los residuos sólidos industriales?

Sí	
No	
Ns / Nr	

6. ¿Considera que en el Relleno Sanitario La Glorita se está realizando un correcto manejo de los residuos sólidos industriales?

Sí	
No	
Ns / Nr	

7. ¿Está de acuerdo con el reciclaje de los metales pesados presentes en los residuos sólidos industriales depositados en el Relleno Sanitario La Glorita?

Sí	
No	
Ns / Nr	

8. ¿Tiene conocimiento sobre la importancia de los dispositivos de detección de metales pesados?

Sí	
No	
Ns / Nr	

9. ¿Estaría de acuerdo con que se adquirieran dispositivos de detección de metales pesados para ser usados en la disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Pereira?

Sí	
No	
Ns / Nr	

10. ¿Considera que al detectar y reciclar los metales pesados en el Relleno Sanitario, se mejorará la salud humana y el medio ambiente en la ciudad de Pereira?

Sí	
No	
Ns / Nr	

Gracias,

JONATHAN GARCÍA DÍAZ  
Estudiantes Ingeniería Electrónica  
Trabajo de Grado  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

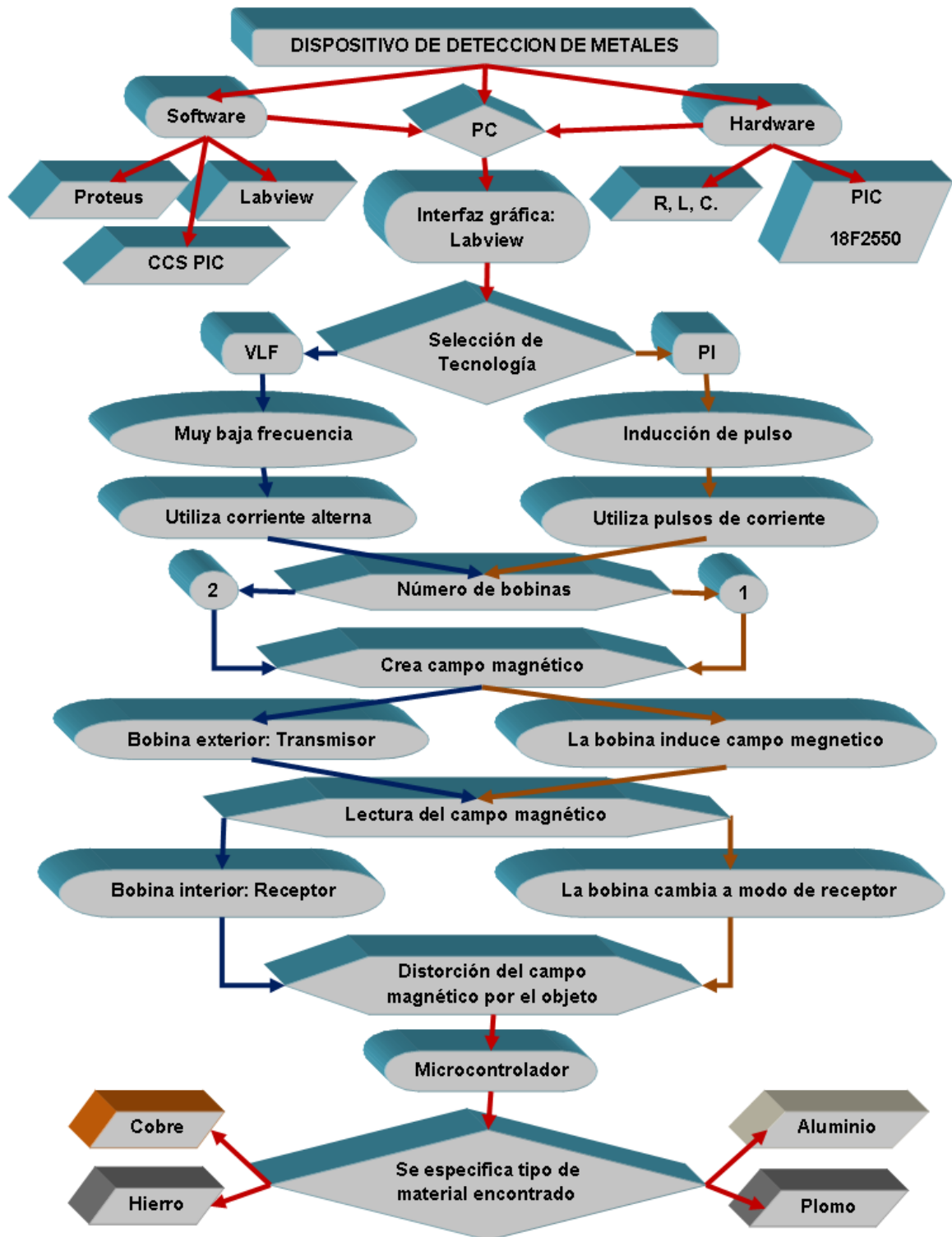


## Anexo No. 2. Listado de la Población

No.	EMPRESA	No.	EMPRESA
1	ASEOBANDO ESP SA.	21	EMPRESAS DE SERVICIOS PUBLICOS VIRGINIA.
2	ATESA DE OCCIDENTE S.A E.S.P. ANSERMANUEVO.	22	EMPRESAS MUNICIPALES DE APIA.
3	ATESA DE OCCIDENTE S.A E.S.P. BOLIVAR.	23	EMPRESAS PÚBLICAS DE BELEN DE UMBRIA.
4	ATESA DE OCCIDENTE S.A E.S.P. LA VICTORIA.	24	EMPRESAS PÚBLICAS MUNICIPALES DE GUATICA E.S.P.
5	ATESA DE OCCIDENTE S.A E.S.P. PEREIRA.	25	EMPRESAS PÚBLICAS MUNICIPIO DE LA CELIA.
6	ATESA DE OCCIDENTE S.A E.S.P. TORO.	26	FUNDACION PRADOS DE PAZ.
7	ATESA DE OCCIDENTE S.A E.S.P. ULLOA.	27	INGENIO RISARALDA.
8	ATESA DE OCCIDENTE S.A E.S.P. VITERBO.	28	MANOS PRODUCTIVAS.
9	C Y P DEL RISARALDA S.A.	29	MERCASA PH.
10	CARTAGUENA DE ASEO TOTAL ESP.	30	MINEROS NACIONALES S.A.
11	CIA DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS.	31	PAPELES NACIONALES.
12	COOPERATIVA CAMINO VERDE A.P.C.	32	PIMPOLLO – PEREIRA.
13	EMP OBRAS SANIARIAS STA ROSA DE CABAL.	33	RECICLAJES DEL RISARALDA S. A.
14	EMPRESA DE SERV. PUBLICOS EMILIO GARTNER.	34	SERVICIUAD E.S.P.
15	EMPRESA DE SERVICIO DE ASEO DE ARGELIA.	35	C.I METALS LA UNION LTDA.
16	EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE MISTRATO.	36	CELAR LIMITADA.
17	EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE PUEBLO RICO E.S.P.	37	ETICOLOR S.A.
18	EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS SANTUARIO.	38	GEOSUB LTDA.
19	EMPRESA DE SERVICIOS TRIBUNAS CORCEGA.	39	INFERCAL S.A.
20	EMPRESA SERVICIOS PUBLICOS DE MARSELLA.	40	PLANTA Y FRIGORIFICO DEL OTUN SAT LTDA.

Fuente: El Autor.

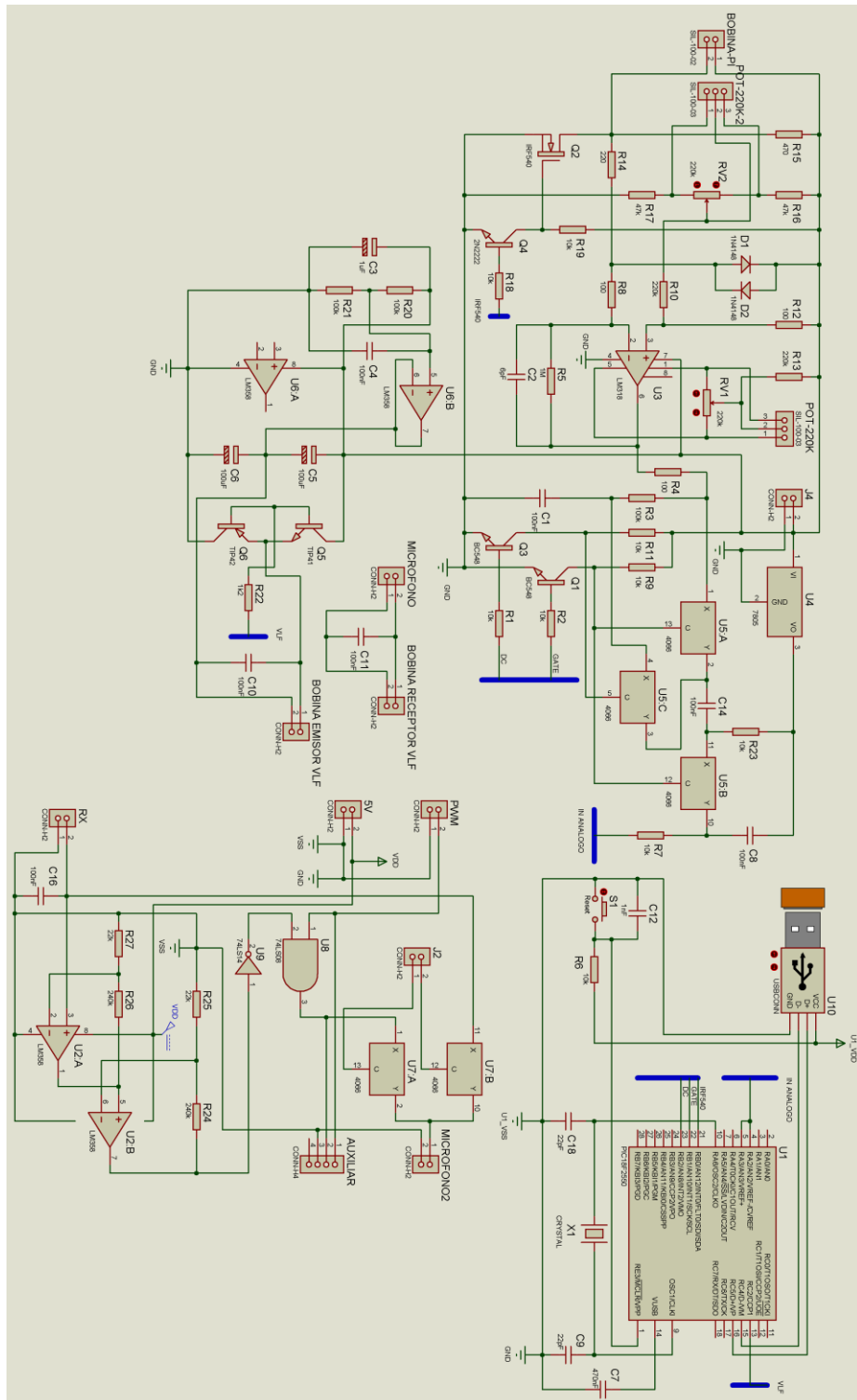
Anexo No. 3. Gráfico No. 1. Diagrama de bloques del Detector de Metales



Fuente: El Autor.

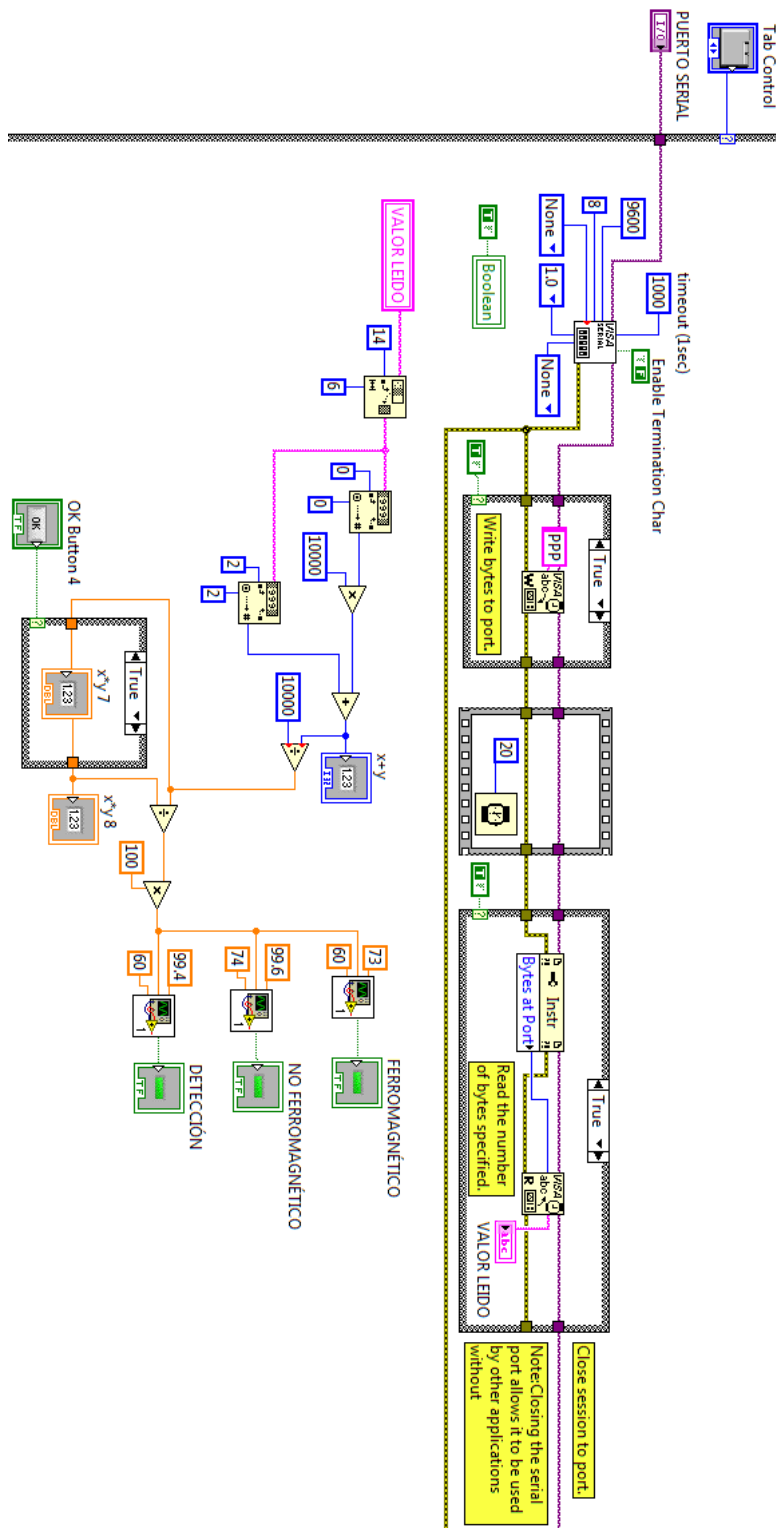


## Anexo No. 5. Esquemático del Circuito en Proteus del detector de metales.



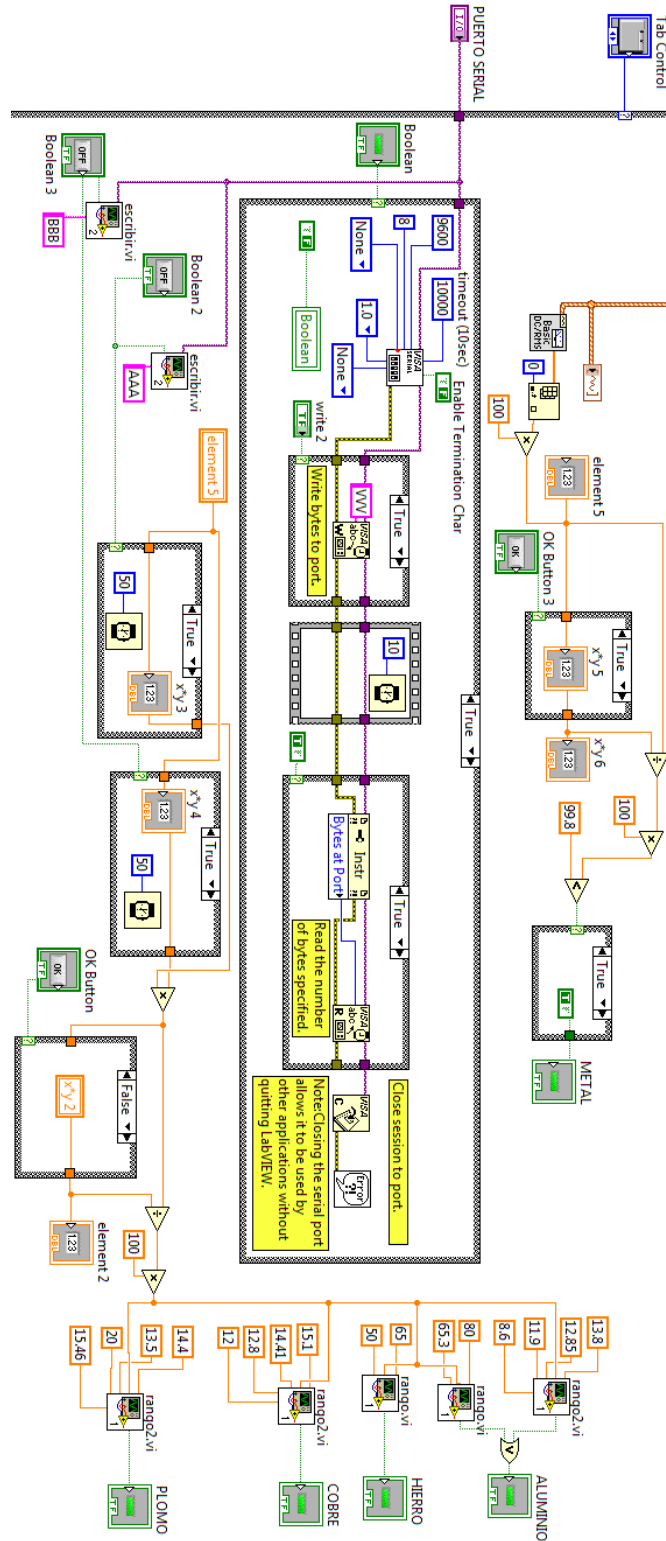
Fuente: El Autor.

## Anexo No. 6. Diagrama de bloques del Detector PI



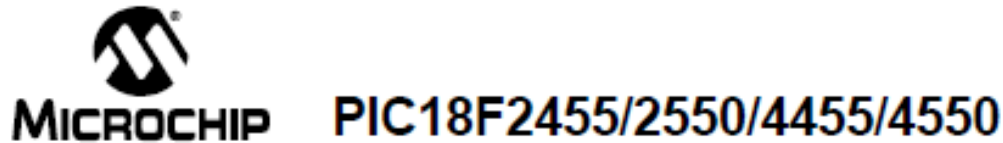
Fuente: El Autor.

## Anexo No. 7. Diagrama de bloques del Detector VLF



Fuente: El Autor.

## Anexo No. 8. Datasheet de Microcontrolador PIC18F2550



### 28/40/44-Pin High-Performance, Enhanced Flash USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

#### Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant SIE
- Low-speed (1.5 Mb/s) and full-speed (12 Mb/s)
- Supports control, interrupt, isochronous and bulk transfers
- Supports up to 32 endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte dual access RAM for USB
- On-board USB transceiver with on-chip voltage regulator
- Interface for off-chip USB transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

#### Power Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8  $\mu$ A typical
- Sleep current down to 0.1  $\mu$ A typical
- Timer1 oscillator: 1.1  $\mu$ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1  $\mu$ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

#### Flexible Oscillator Structure:

- Five Crystal modes, including High-Precision PLL for USB
- Two External RC modes, up to 4 MHz
- Two External Clock modes, up to 40 MHz
- Internal oscillator block:
  - 8 user selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
  - User tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor
  - Allows for safe shutdown if any clock stops

#### Peripheral Highlights:

- High current sink/source: 25 mA/25 mA
- Three external interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
  - Capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns ( $T_{CY}/16$ )
  - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns ( $T_{CY}$ )
  - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
  - Multiple output modes
  - Selectable polarity
  - Programmable dead-time
  - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Addressable USART module:
  - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI™ (all 4 modes) and I<sup>2</sup>C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channels Analog-to-Digital Converter module (A/D) with programmable acquisition time
- Dual analog comparators with input multiplexing

#### Special Microcontroller Features:

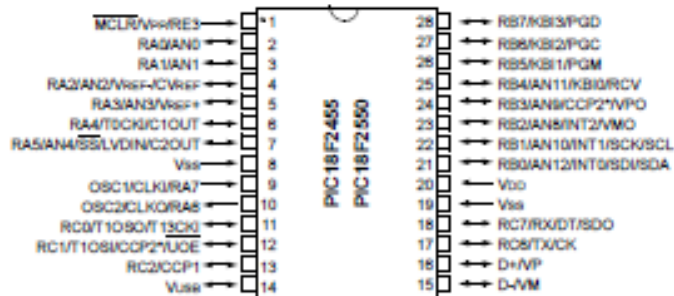
- C compiler optimized architecture with optional extended instruction set
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle data EEPROM memory typical
- Flash/data EEPROM retention: > 40 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
  - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (oh)	CCP/ ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EA/USART	Comparators	Timers 8/16-bit
	FLASH (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I <sup>2</sup> C			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

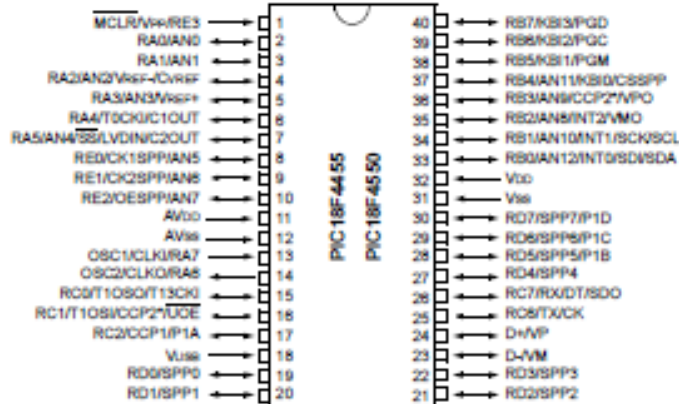
# PIC18F2455/2550/4455/4550

## Pin Diagrams

### 28-Pin SDIP, SOIC



### 40-Pin PDIP



Note: Pinouts are subject to change.

\* Assignment of this feature is dependent on device configuration.