

**SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA VERIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE
ACOMETIDAS MONOFÁSICAS DE BAJA TENSIÓN**

JUAN MANUEL DELGADO QUINTERO



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA YELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2017**

**SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA VERIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE
ACOMETIDAS MONOFÁSICAS DE BAJA TENSIÓN**

JUAN MANUEL DELGADO QUINTERO

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO ELECTRICISTA**

DIRECTORES:

EDUARDO CAICEDO

Ingeniero Electricista Ph. D.

BAYRON CALVACHE

Ingeniero Electrónico M.Sc.

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA YELECTRÓNICA

SANTIAGO DE CALI

2017

LISTA DE CONTENIDO

	Pág.
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 TRABAJOS FUTUROS	12
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	13
2.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE ACOMETIDA	13
2.1.1 Numero de acometidas.....	14
2.1.2 Tipos de acometida	15
2.1.3 Acometida aérea en baja tensión	15
2.1.4 Selección de acometida de baja tensión	16
2.1.5 Regulación de tensión	17
2.1.6 Alturas mínimas de seguridad	18
2.1.7 Conexión de acometida.....	19
2.2 MÉTODOS DE DETECCIÓN DE CONDUCTORES.....	22
2.2.1 Método conductivo	22
2.2.2 Método Inductivo	24
2.2.3 Localización por tonos	24
2.3 TAXONOMÍA	26
2.3.1 <i>Electric outlet and cable tracing method and apparatus</i>	26
2.3.2 <i>Electrical circuit tracing apparatus using modulated tracing signals</i>	28
2.3.3 Device for tracing electrical cable	30
2.3.4 <i>Method and apparatus for tone tracing and tagging using mobile computer device</i>	31
2.4 DISPOSITIVOS COMERCIALES DE DETECCIÓN DE CABLES	32
2.4.1 Cable tracker PCE-180 CBN	32
2.4.2 Cable detector PCE-191 CB.....	33
2.4.3 Cable locator Fluke 2042	33
2.5 MÉTODOS DE MODULACIÓN DE SEÑALES	34
2.5.1 Modulación ASK (Amplitudes-Shift Keying)	35
2.5.2 Modulación FSK (Frequency-Shit Keying)	36
2.6 ENCUESTA – PROBLEMÁTICA DE LAS ACOMETIDAS DE LOS USUARIOS DE BAJA TENSIÓN.....	37

2.7 CONCLUSIONES	40
CAPITULO 3. SISTEMA DE DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ACOMETIDAS MONOFASICAS DE BAJA TENSIÓN DUPIN-17	
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	41
3.2 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	41
3.3 DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA	42
3.4 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA.....	45
3.4.1 Plataforma (Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board)	45
3.4.2 Microcontrolador TM4C123GH6PM	46
3.4.3 Multiplexor (CD 4051)	47
3.4.4 Dispositivo transmisor y receptor del sistema.....	48
3.4.5 Acondicionadores de la señal de identificación	50
3.4.6 Filtro de señal- Receptor	57
3.4.7 Fuentes de alimentación	62
3.4.7 Conectores	65
3.5 DESCRIPCIÓN DEL SOTWARE DEL SISTEMA.....	66
3.5.1 Algoritmos para la transmisión de señal	66
3.5.2 Algoritmos para la recepción de señal	71
3.6 CONCLUSIONES	79
CAPITULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS	
4.1 ESQUEMATICO Y DISEÑO DEL SISTEMA EN PLAQUETAS (EAGLE)	74
4.2 PRUEBA DEL SISTEMA A CORTA DISTANCIA.....	79
4.3 RESPUESTA REAL DE LOS ELEMENTOS DE ADECUACION Y FILTRO DE SEÑAL.....	85
4.3.1 Respuesta de los elementos de adecuación de señal	85
4.3.2 Respuesta del filtro pasa-banda (Receptor)	88
4.4 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA ZONA DE PRUEBA FINAL.....	91
4.5 PROTOCOLO Y RESULTADOS DE PRUEBAS DE VALIDACIÓN DEL SISTEMA PARA DISTANCIAS MAYORES A 10 METROS	92
4.6 CONCLUSIONES	98
5 CONCLUSIONES GENERALES	100
BIBLIOGRAFÍA	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Excepciones para la instalación de más de una acometida	14
Tabla 2. Clasificación de acometidas de acuerdo a las empresas prestadoras del servicio eléctrico.....	15
Tabla 3. Características del ducto de Acometida para las instalaciones de EPSA.....	16
Tabla 4. Pasos para la selección de la acometida extraídos de manuales de EPSA y EMCALI	17
Tabla 5. Límites de regulación de tensión y distancia máxima (EPSA)	18
Tabla 6. Especificaciones Técnicas del PCE-180 CBN [13]	33
Tabla 7. Especificaciones Técnicas del PCE-191 CB [14]	33
Tabla 8. Especificaciones Técnicas del Fluke 2042 [15]	34
Tabla 9. Resultados obtenidos de la encuesta- PROBLEMÁTICA DE LAS ACOMETIDAS DE LOS USUARIOS DE BAJA TENSIÓN.....	38
Tabla 10. Especificaciones de la Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board [17]	46
Tabla 11. Características del Microcontrolador TM4C123GH6PM tomado de [18].....	46
Tabla 12. Tabla de verdad del integrado CD4051	48
Tabla 13. Características del integrado LM324 tomado de [22]	52
Tabla 14. Comparación entre la implementación del lazo de corriente y el lazo de tensión	54
Tabla 15. Características técnicas del dispositivo XL6009 Buck Boost tomado de [25].....	65
Tabla 16. Características técnicas del dispositivo LM2596 Buck tomado de [26]	65
Tabla 17. Resultados obtenidos de la toma de 100 mediciones para cada señal de identificación.....	82
Tabla 18. Características técnicas de la fuente regulada GW INSTEK GPC-3030D.....	83
Tabla 19. Características técnicas del osciloscopio RIGOL DS1102E.....	84
Tabla 20. Características técnicas del generador de señales BX PRECISION 4084 AWG	85
Tabla 21. Porcentaje de atenuación a la salida del filtro pasa-banda para cada una de las frecuencias de identificación y las frecuencias de corte	91
Tabla 22. Resultados obtenidos de la transmisión de señal a distintas distancias	95
Tabla 23. Resultados obtenidos para la inducción de tensión en el circuito adyacente al de la señal de identificación	96
Tabla 24. Resultados obtenidos de la transmisión de señal para 2 señales de identificación en DC	97
Tabla 25. Resultados obtenidos del barrido de frecuencia y la medición de la inducción de tensión.....	97

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Alturas mínimas de seguridad para la instalación de Acometidas (EPSA) ...	18
Ilustración 2. Esquema general de la acometida aérea basado en el de la NTC 2050.	21
Ilustración 3. Esquema del método Conductivo aplicando la señal al transformador [5]....	23
Ilustración 4. Esquema del método conductivo aplicando la señal al medidor [5].....	23
Ilustración 5. Esquema para la localización por tonos [7].....	25
Ilustración 6. Diagrama de Bloques de un excitador de señales de etiqueta acoplado con un detector de señales de etiqueta por medio de circuitos típicos de cableado de edificio [12]	26
Ilustración 7. Vista en perspectiva del dispositivo receptor [10]	29
Ilustración 8. Diagrama parcial de un panel de distribución de energía e indicación de cómo se conecta el dispositivo en este tipo de sistemas [10]	29
Ilustración 9. Diagrama de bloques del " DEVICE FOR TRACING ELECTRICAL CABLES" [9]	30
Ilustración 10. Esquema de la señal modulada tomado [16].....	34
Ilustración 11. Representación de una señal binaria.....	35
Ilustración 12. Señales de la modulación ASK tomado [16].....	36
Ilustración 13. Señales de la modulación FSK tomado de [16].....	37
Ilustración 14. Diagrama de Bloques teórico del sistema electrónico para la verificación e identificación de acometidas monofásicas de baja tensión.	43
Ilustración 15. Diagrama de Bloques implementado del sistema electrónico para la verificación e identificación de acometidas monofásicas de baja tensión.....	44
Ilustración 16. Imagen de la Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board [17].....	45
Ilustración 17. Distribución de pines integrado CD4051 tomado de [19].....	47
Ilustración 18. Diagrama funcional de bloques del integrado CD4051 tomado de [19]	47
Ilustración 19. Configuración generador FSK del integrado XR-2206 [20]	49
Ilustración 20. Circuito de fase cerrada (PLL) tomado de MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN FSK: FREQUENCY SHIFT KEYING	49
Ilustración 21. Configuración demodulador FSK del integrado XR-2211 tomado de [21]	50
Ilustración 22. Esquema de pines comparador LM324 [22]	51
Ilustración 23. Comparador no inversor con voltaje de referencia positivo [23]	52
Ilustración 24. Diagrama circuital del acople AC para los integrados LM324.....	52
Ilustración 25. Comparador de Schmitt no inversor con desplazamiento [23].....	53
Ilustración 26. Fuentes de corriente controladas por voltaje con carga flotante tomado de [24]	54
Ilustración 27. Esquema de simulación del amplificador operacional LM324 en el software Proteus.....	55
Ilustración 28. Formas de onda a la salida del transmisor para las señales de identificación 1 y 8 (3200 Hz y 8800 Hz) escala de 5V/cuadro	55

Ilustración 29. Esquema de simulación del comparador LM311 y el amplificador operacional LM741 en el software Proteus	56
Ilustración 30. Formas de onda para la señal de entrada al comparador (Amarilla), entregada por el amplificador LM741 en configuración de comparador (Azul) y por el comparador LM311 (Roja) escala de 2V/división.....	57
Ilustración 31. Filtro paso alto con topología Sallen-Key	58
Ilustración 32. Respuesta en el dominio de la frecuencia- Filtro pasa banda- Receptor....	60
Ilustración 33. Esquema de simulación del filtro pasa banda en el software Proteus.....	61
Ilustración 34. Formas de onda para una señal de 6kHz a la entrada del filtro pasa banda (Amarilla) a la salida del filtro pasa alto (Azul) y a la salida del filtro pasa banda (Roja) ..	62
Ilustración 35. Diagrama de bloques de la alternativa 1 para la alimentación del dispositivo transmisor	63
Ilustración 36. Diagrama de bloques de la alternativa 2 para la alimentación del dispositivo transmisor	63
Ilustración 37. Diagrama de bloques para la alimentación del dispositivo receptor	64
Ilustración 38. Conector tipo cuña (WACP) tomado de planos anexos NMA3-01 EPSA tomado de [27].....	65
Ilustración 39. Caja de derivación para acometidas de baja tensión tomada de [28]	66
Ilustración 40. Algoritmo implementado para la activación del dispositivo transmisor	67
Ilustración 41. Algoritmo implementado para la parada del proceso de transmisión	68
Ilustración 42. Algoritmo implementado para la transmisión en cadena de las señales de identificación.....	68
Ilustración 43. Formato de datos transmisión UART tomado de [29]	69
Ilustración 44. Algoritmo para la transmisión en cadena de los códigos de 8 Bits de cada acometida	70
Ilustración 45. Algoritmo para la recepción de la cadena de señales de identificación	71
Ilustración 46. Algoritmo para la activación del display 7 segmentos utilizando la frecuencia medida	72
Ilustración 47. Algoritmo para la recepción- de cadena de los códigos de 8 Bits de cada acometida	73
Ilustración 48. Algoritmo para la activación del display 7 segmentos utilizando la cadena de bits recibido.....	74
Ilustración 49. Diagrama esquemático del dispositivo transmisor del sistema (EAGLE)....	75
Ilustración 50. Diseño de placa del dispositivo transmisor del sistema (EAGLE)	76
Ilustración 51. Diagrama esquemático del dispositivo receptor del sistema (EAGLE).....	77
Ilustración 52. Diseño de placa del dispositivo receptor del sistema (EAGLE)	78
Ilustración 53. Montaje del sistema para la prueba del software a corta distancia.....	81
Ilustración 54. Ventana del puerto serial ligado al receptor antes de presionar el botón de arranque del dispositivo transmisor (Algoritmos 3.5.1.1 y 3.5.2.1).....	81
Ilustración 55. Ventana del puerto serial ligado al dispositivo receptor una vez se envían las señales de identificación (Algoritmos 3.5.1.1 y 3.5.2.1).....	82
Ilustración 56. Fuente regulada GW INSTEK GPC-3030D	83
Ilustración 57. Osciloscopio RIGOL DS1102E	84

Ilustración 58. Generador de señales BX PRECISION 4084 AWG	85
Ilustración 59. Circuito implementado para la prueba del integrado LM324.....	86
Ilustración 60. Señal de entrada al integrado LM324 tipo cuadrada, 3.2kHz, 1 V/División; V_{pp} 3.31 V; V_{min} 0V; V_{max} 3.31 V	86
Ilustración 61. Señal de salida del integrado LM324 tipo cuadrada, 3.2kHz, 2 V/División; V_{pp} 10.3 V; V_{min} 60 mV; V_{max} 10.3 V	86
Ilustración 62. Señal entregada por el acople AC tipo cuadrada, 3.2 kHz, 2 V/División; V_{pp} 10.5 V; V_{min} -5.28 V; V_{max} 5.28 V	87
Ilustración 63. Circuito implementado para la prueba del integrado LM311	87
Ilustración 64. <i>Señal de entrada al integrado LM311</i> 3.210 kHz (Amarilla), V_{pp} 11.9 V, V_{min} -6 V, V_{max} 5.92 V, 2 V/División; <i>Señal de salida del integrado LM311</i> 3.221 kHz (Azul), V_{pp} 3.44 V, V_{min} 0 V, V_{max} 3.44 V, 2 V/División.....	88
Ilustración 65. <i>Señal de entrada al integrado LM311</i> 8.757 kHz (Amarilla), V_{pp} 11.9 V, V_{min} -6.05 V, V_{max} 5.92 V, 2 V/División; <i>Señal de salida del integrado LM311</i> 8.757 kHz (Azul), V_{pp} 3.44 V, V_{min} 0 V, V_{max} 3.44 V, 2 V/División.....	88
Ilustración 66. Circuito implementado para la prueba del filtro pasa-banda	89
Ilustración 67. <i>Señal de entrada al filtro pasa banda</i> 3.413 kHz (Amarilla), V_{pp} 5.76 V, V_{min} -2.79 V, V_{max} 2.96 V, 2 V/División; <i>Señal del salido del filtro pasa banda</i> 3.425 kHz (Azul), V_{pp} 4.48 V, V_{min} -2.16 V, V_{max} 2.31 V, 2 V/División; Atenuación 22.2 %	89
Ilustración 68. <i>Señal de entrada al filtro pasa banda</i> 8.898 kHz (Amarilla), V_{pp} 6.63 V, V_{min} -3.27 V, V_{max} 3.35 V, 2 V/División; <i>Señal del salido del filtro pasa banda</i> 8.865 kHz (Azul), V_{pp} 5.03 V, V_{min} -2.55 V, V_{max} 2.45 V, 2 V/División; Atenuación 24.13%	89
Ilustración 69. <i>Señal de entrada al filtro pasa banda</i> 3.401 kHz (Amarilla), V_{pp} 7.19 V, V_{min} -3.51 V, V_{max} 3.68 V, 2 V/División; <i>Señal del salido del filtro pasa banda</i> 3.401 kHz (Azul), V_{pp} 7.36 V, V_{min} -3.75 V, V_{max} 3.59 V, 2 V/División; Atenuación 0 %	90
Ilustración 70. <i>Señal de entrada al filtro pasa banda</i> 8.865 kHz (Amarilla), V_{pp} 7.03 V, V_{min} -3.44 V, V_{max} 3.59 V, 2 V/División; <i>Señal del salido del filtro pasa banda</i> 8.865 kHz (Azul), V_{pp} 5.36 V, V_{min} -2.72 V, V_{max} 2.64 V, 2 V/División; Atenuación 23.75 %	90
Ilustración 71. Disposición de los elementos dentro del laboratorio de máquinas de la Universidad del Valle	91
Ilustración 72. Tablero de conexiones del laboratorio de máquinas de la Universidad del Valle	92
Ilustración 73. Montaje implementado en la prueba de validación (Dispositivo transmisor)	93
Ilustración 74. Montaje implementado en la prueba de validación (Dispositivo receptor) ..	94
Ilustración 75. Gráfica del porcentaje de atenuación en función de la frecuencia de la señal de identificación	95
Ilustración 76. Gráfica del porcentaje de inducción en función de la frecuencia de la señal de identificación	96
Ilustración 77. Señal medida al ser transmitida a 32.5 m, V_{max} 1.38 V, V_{min} -0.96 V, V_{pp} 2.35 V, Frecuencia 3.205 kHz, 5 V/División	97
Ilustración 78. Señal medida al ser transmitida a 32.5 m, V_{max} 1.38 V, V_{min} -0.96 V, V_{pp} 2.35 V, Frecuencia 3.205 kHz, 5 V/División	97

RESUMEN

Las empresas encargadas de prestar el servicio de energía eléctrica en Colombia buscan llevar un control y seguimiento adecuado de los usuarios que están conectados a sus transformadores de distribución. Inicialmente se tiene una distribución pero ésta sufre cambios que no se actualizan de manera inmediata su base de datos, ocasionando irregularidades en la prestación del servicio como ineficiencia en los trabajos de mantenimiento a las conexiones de usuarios y aumento de pérdidas no técnicas debido a conexiones no reglamentarias. Esto se traduce en pérdidas económicas para la empresa e inconvenientes para los usuarios.

Se presenta el diseño de un sistema inteligente electrónico para la verificación e identificación de acometidas monofásicas de baja tensión. Se realiza una investigación del marco teórico con la finalidad de conocer los requerimientos del sistema, se plantea el diagrama de bloques del sistema analizando distintas alternativas de implementación para cada elemento. Por último se valida el diseño realizado a través de simulaciones y pruebas de laboratorio.

Palabras clave: Acometida, mantenimiento, pérdidas, sistema, diagrama.

ABSTRACT

The companies in charge of providing the electric power service in Colombia seek to have an adequate control and monitoring of the users that are connected to their distribution transformers. Initially there is a distribution but this suffers changes which are not updated immediately to their database. Causing irregularities in the provision of the service such as inefficiency in the maintenance of users connections and increase of non-technical losses due to non-regulatory connections. This translates into economic losses for the company and inconveniences for users.

The design of an electronic system for the verification and identification of single-phase low-voltage connections is presented. A research of the theoretical framework is done in order to know the requirements of the system, the block diagram of the system is built analyzing different alternatives of implementation for each element, finally the design is validated through simulations and laboratory tests.

Keywords: Electric supply, maintenance, losses, system, diagram.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado tiene como objetivo principal diseñar e implementar un sistema electrónico para la verificación e identificación de acometidas de usuarios monofásicos de baja tensión alimentados desde transformadores de distribución de baja tensión.

Para transportar la energía eléctrica a los usuarios se utilizan medios como líneas de transmisión elevadas o cables subterráneos. Éstos deben contar con una serie de características para garantizar una correcta transmisión y evitar accidentes que perjudiquen a los usuarios y a la entidad prestadora del servicio.

En pequeña escala cada usuario tiene asignado una conexión a uno de los transformadores de distribución llamada acometida. Ésta está sujeta a normas técnicas como la NTC 2050, a reglamentos como el RETIE y cada empresa encargada de prestar el servicio de energía eléctrica tiene un manual de conexión donde se especifica cómo debe realizarse.

Los conductores que se utilizan en las acometidas generalmente tienen que soportar la exposición a los agentes atmosféricos y otras condiciones de uso sin que se produzcan fugas perjudiciales de corriente, deben tener una capacidad de corriente suficiente para transportar la corriente para la cual se ha calculado la carga y deben poseer una resistencia mecánica adecuada.

Las empresas encargadas de prestar el servicio de energía eléctrica en Colombia y en países en vías de desarrollo buscan realizar un control y seguimiento adecuado de los usuarios que se encuentran conectados a sus transformadores de distribución.

Inicialmente se tiene una distribución pero sufre cambios debido a maniobras y a la entrada de nuevos usuarios al sistema. Éstos cambios no se actualizan de manera inmediata a la base de datos de la empresa. Esta falta de actualización ocasiona que se presenten irregularidades en la prestación del servicio como ineficiencia en los trabajos de mantenimiento a las conexiones de usuarios y aumento de pérdidas no técnicas debido a conexiones no reglamentarias. Esto se traduce en pérdidas económicas para la empresa e inconvenientes para los usuarios.

Como un aporte de solución a este problema, este trabajo plantea el diseño de un sistema inteligente electrónico para la verificación e identificación de las acometidas de usuarios monofásicos en transformadores de distribución de baja tensión, el cual debe contar con características favorables para la manipulación en

su entorno de uso y no afectar en gran medida las conexiones de acometidas de los usuarios.

El siguiente trabajo tiene la siguiente organización por capítulos:

Capítulo 1: En este capítulo se tiene una introducción al trabajo de grado en la que se informa al lector del tema al cual está relacionado el trabajo de grado, se plantea el problema a solucionar y se presentan los resultados obtenidos del mismo.

Capítulo 2: En este capítulo se presenta el soporte teórico necesario para comprender la solución planteada e investigaciones pasadas relacionadas con este trabajo de grado.

Capítulo 3: En este capítulo se describe el diseño del hardware y software planteando las alternativas para cada uno de los componentes del sistema.

Capítulo 4: En este capítulo se muestran los resultados de las pruebas realizadas y se analizan con la finalidad de evaluar el desempeño del sistema.

Al finalizar el desarrollo de este trabajo de grado se obtuvo como resultado el diseño satisfactorio de un sistema electrónico para la verificación e identificación de acometidas de usuarios monofásicos de baja. Este cumple con los requerimientos planteados para el diseño, brinda distintas alternativas de implementación para los elementos que lo componen y se ha validado a través de un protocolo de pruebas.

La implementación de un dispositivo encargado de realizar la verificación de la correcta conexión de las acometidas al transformador de distribución brinda beneficios a la empresa prestadora del servicio de energía eléctrica y a los usuarios.

Las empresas prestadoras del servicio podrán disponer de información actualizada que les permitiría tener un seguimiento y programación constante de las maniobras realizadas en el transformador. Al disponerse de esta información es posible que se identifiquen con mayor facilidad las conexiones no reglamentarias. Las maniobras de mantenimiento realizadas por los operarios serían más eficientes ya que se reducirían los tiempos empleados en la identificación de la conexión con la que se debe trabajar. Para las empresas que trabajan con sistemas de medición centralizada, el dispositivo permitirá verificar la correcta asociación suscriptor /medidor. Podrían presentarse beneficios económicos para la empresa prestadora del servicio debido a lo mencionado anteriormente.

1.1 TRABAJOS FUTUROS

A pesar de que el proceso de diseño presentado en este trabajo resultó satisfactorio, se tiene la posibilidad de agregar mejoras al diseño y otras funciones al sistema. A continuación se enumeraron una serie de actividades a realizar, las cuales pueden ser implementadas en futuros trabajos de grado.

- Implementación de un **optoacoplador** en el proceso de transmisión de la señal de identificación, esto con la finalidad de que no exista una conexión directa entre el microcontrolador y el elemento encargado del acondicionamiento de la señal, evitando que durante una falla el microcontrolador se vea afectado.
- Profundizar en la implementación de los algoritmos presentados en las secciones **3.5.1.2** y **3.5.2.2**. Se trabajaría en mejorar el algoritmo para implementar de manera completa la transmisión UART. Enfatizando en lograr una sincronización entre el transmisor y el receptor lo cual fue uno de los problemas encontrados en este trabajo de grado.
- Optar por un lazo de corriente para la adecuación de la señal de identificación.
- Realizar un protocolo de pruebas para la validación de dispositivo directamente en un transformador de distribución de baja tensión residencial con la finalidad de conocer a ciencia cierta el comportamiento del dispositivo ante una distribución de acometidas real.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describe la caracterización del concepto de acometida, identificando las partes que la componen y sus características de acuerdo a las normas técnicas y a los manuales de las empresas prestadoras del servicio eléctrico. Se identificaron las diferentes técnicas de detección de cables y se enumeraron una serie de equipos de detección existentes. Con esto se seleccionó la técnica a utilizar para el diseño del dispositivo y se concluyó de acuerdo a esto.

2.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE ACOMETIDA

Todo edificio al cual llegue corriente eléctrica debe tener una acometida. Las normas técnicas colombianas y las empresas encargadas de prestar el servicio eléctrico proporcionan definiciones e información general para la acometida.

El **RETIE** define la acometida como derivación de la red local del servicio respectivo, que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominio, la acometida llega hasta el registro de corte general. [1]

En el caso en el que el dispositivo de corte se encuentre aguas arriba del medidor, se entenderá la acometida como el conjunto de conductores y accesorios entre el puente de conexión eléctrico al sistema de uso general y los bornes de salida del equipo de medición. [1]

La **NTC 2050** la define como derivación de la red local del servicio público domiciliario de energía eléctrica, que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro del corte general. [2]

Igualmente define la acometida aérea como los conductores aéreos de acometida que van desde el ultimo poste o soporte aéreo, incluidos los conectores de derivación, si los hay, hasta los conductores de entrada de acometida de la edificación u otra estructura. [2]

EMCALI se refiere a lo dicho en la norma NTC 2050, “conjunto de conductores y el equipo para dar energía desde un sistema de suministro eléctrico, al servicio de alambrado de la propiedad servida”. [3]

EPSA proporciona una serie de definiciones dependiendo de si es no autorizada, primaria o secundaria.

Las *no autorizadas* las define como cualquier derivación de la red local o de otra acometida, efectuada sin autorización del prestador del servicio. Generalmente la energía de una acometida derivada no es registrada por el medidor.

Primaria es la que se deriva de la red de distribución de media tensión a 13.2 kV o 34.5 kV.

Secundaria es la que se deriva de la red de distribución de baja tensión o desde los bornes secundarios de un transformador de distribución. [4]

2.1.1 Numero de acometidas

Al leer la norma técnica NTC 2050 y los manuales de instalación de las empresas como EPSA y EMCALI, todas concordaron en que un edificio o estructura al que llegue corriente eléctrica debe tener una sola acometida, sin embargo, hay una serie de excepciones. En la tabla 1 se muestran las excepciones de acuerdo a la empresa prestadora del servicio eléctrico.

Tabla 1. Excepciones para la instalación de más de una acometida

EXCEPCIONES		
NTC 2050	EMCALI	EPSA
Cuando se requiera una acometida para bombas contra incendios Para instalaciones eléctricas de emergencia, de reserva obligatorias, opcionales o sistemas generadores en paralelo En edificio de ocupaciones múltiples, cuando no haya espacio suficiente para acometidas accesibles para todos sus usuarios Cuando se requiere de una capacidad mayor a 2000 A a una tensión de suministro de 600 V o menos. Edificios de gran superficie Para distintas características (Tensión, frecuencia, fases).	Cuando se requiera una acometida independiente para bombas contra incendios Cuando se requiera una acometida independiente para sistemas de emergencia, sistemas de reserva legalmente obligatorias Cuando en el predio se utilizan características diferentes de servicio, como tensiones diferentes o por usos distintos con tarifas diferentes Instalaciones con corrientes superiores a 2000 A alimentadas en BT Inmuebles de gran superficie En edificios de varios usos (ocupación múltiple)	En el manual de instalación no proporciona excepciones para el numero de acometidas que pueden ser instaladas

Las excepciones presentadas son prácticamente las mismas ya que los manuales de instalación de las empresas se basan en la norma NTC 2050.

2.1.2 Tipos de acometida

La norma NTC 2050 y los manuales de instalación de empresas prestadoras de energía eléctrica clasifican las acometidas de distinta manera, en la tabla 2 se muestran estas clasificaciones.

Tabla 2. Clasificación de acometidas de acuerdo a las empresas prestadoras del servicio eléctrico

TIPOS DE ACOMETIDAS		
NTC 2050	EMCALI	EPSA
Acometidas Aéreas	Acometida en media tensión: Aérea, Subterránea, Mixta	Acometida en baja tensión: Aérea, Subterránea, Mixta
Acometidas Subterráneas	Acometida en Baja tensión: Aérea, Subterránea, Mixta	

El Sistema electrónico inteligente está enfocado para ser aplicado a usuarios monofásicos en baja tensión, por tal motivo, la acometida que es de interés para este trabajo es la acometida aérea en baja tensión.

2.1.3 Acometida aérea en baja tensión

Las empresas encargadas de suministrar el servicio eléctrico como EPSA y EMCALI proporcionan información general de este tipo de acometida.

EMCALI menciona que la acometida aérea desde el poste que soporta la red en baja tensión hasta el sitio de ubicación de la medición de energía, se debe realizar con cable de cobre aislado en polietileno para 75° (TWH) y con neutro concéntrico, suspendido mediante sendos aisladores de porcelana tipo carrete. Conectado a la red mediante la caja de distribución para acometidas. No se permiten más de tres acometidas para un mismo inmueble y estas acometidas deben derivarse desde un mismo nodo de circuito. [3]

Para edificios que requieran más de 4 servicios de energía, se debe instalar un tablero con barraje y totalizador general. El tablero debe ser instalado en lugares de fácil acceso para el personal de EMCALI por efectos de lectura y de revisión de la conexión. [3]

En la norma técnica de instalaciones de **EPSA** se tiene que para la entrada de las acometidas a las instalaciones del cliente, se empleara tubo conduit metálico

galvanizado provisto de capcete u otro accesorio del tipo masilla moldeable que asegure el sellamiento de la tubería para montaje a la vista.[4]

Los conductores irán directamente hasta la caja de medidores, la cual podrá estar incrustada en la pared exterior del inmueble o colocada a la vista y asegurada con grapas galvanizadas, abrazaderas galvanizadas o cintas de acero inoxidable, espaciadas un máximo de 1m entre sí. [4]

A continuación en la tabla 3 se presentan las características que debe tener el ducto de acometida de acuerdo a la normativa de **EPSA**.

Tabla 3. Características del ducto de Acometida para las instalaciones de EPSA

DUCTO PARA ACOMETIDA
Debe ser continuo sin derivaciones ni perforaciones desde el inicio hasta la caja de medición Debe ser hermético Deberá tener máximo dos curvas eléctricas de amplio radio de curvatura de acuerdo con el calibre del tubo Solo se emplearan curvas eléctricas El ducto deberá ser provisto de un alambre galvanizado que facilite la instalación de la acometida Los ductos que entran a la caja para el medidor tendrán adaptadores terminales Se permite que el ducto se instale incrustado o adosado en las paredes

En la entrada del inmueble se puede utilizar un tubo conduit no metálico siempre y cuando no sobresalga más de 0.2 m y que no esté sometido a esfuerzos o tensiones mecánicas transversales. [4]

El cable neutro concreto esta conformado por conductores de fase aislados en polietileno cubiertos por el neutro instalado concéntricamente y sobre ellos una chaqueta negra protectora de PVC. Todos los conductores de fase y de neutro serán de cobre blando y/o aluminio de serie 8000. [4]

2.1.4 Selección de acometida de baja tensión

Cada empresa dispone de una metodología para la instalación de la acometida y de tablas que facilitan la selección del conductor de acuerdo a las características del circuito que se tenga. La tabla 4 muestra los pasos a seguir para la selección de la acometida extraídos de los manuales de instalación de las empresas EMCALI y EPSA.

Tabla 4. Pasos para la selección de la acometida extraídos de manuales de EPSA y EMCALI

PASOS PARA LA SELECCIÓN DE LA ACOMETIDA	
EMCALI	EPSA
Identificar el tipo de instalación(residencial, comercial, industrial)	Identificar el tipo de instalación
Calcular la carga instalada (Capitulo 2 NTC 2050)	Calcular la carga instalada
Calcular la carga demandada de la instalación (Capitulo 2 NTC 2050)	Calcular la carga demandada de la instalación
Especificar el tipo de acometida	Especificar el tipo de acometida: monofásica, trifilar, trifásica
Seleccionar el calibre de acometida de acuerdo con la longitud y la carga	Seleccionar el calibre de la acometida de acuerdo con su longitud y la carga a servir, verificar regulación de tensión
Selección del conducto para la acometida	Si la acometida es aérea o subterránea seleccionar ductos, bajantes, canalizaciones y cajas de inspección según el caso

2.1.5 Regulación de tensión

Para la regulación de tensión se dispone de fórmulas para verificar si se tiene los elementos adecuados para cumplir con el requisito de regulación.

EMCALI para el cálculo de la regulación sigue el procedimiento explicado en el capítulo 2 numeral 2.1.2.5 de su propia norma de instalaciones. La regulación se debe calcular en cada nodo terminal del circuito secundario de cada transformador de la siguiente manera; [3]

$$\%Reg = \sum_{i=1,n} D_{MAX} * l_i * k_i$$

%Reg Porcentaje de regulación

D_{MAX} Demanda maxima

k_i Constante que depende del tipo del sistema, del factor de potencia de la carga y del conductor en $\frac{1}{KVA * m}$

l_i Longitud del tramo i en metros

i numero indicativo de la secuencia de tramos hasta un terminal secundario

n numero de tramos hasta un terminal secundario

Una vez calculada la regulación se debe cumplir los siguientes requisitos

%Reg $\leq 3.5\%$ Para redes trifásicas o bifásicas urbanas

%Reg $\leq 3.0\%$ Para urbanizaciones con posibilidad de expansión

$\%Reg \leq 4.0\%$ Para redes rurales

Si se cumple con este requisito el conductor es el apropiado. [3]

EPSA por su parte cuenta con la siguiente tabla, en la cual menciona los límites de regulación de tensión y distancias máximas permitidas entre el punto de conexión y la carga.

Tabla 5. Límites de regulación de tensión y distancia máxima (EPSA)

Calibre Cobre [AWG]	Calibre Aluminio [AWG]	Distancia Máxima [m]	Regulación máxima permitida [%]
4	2	70	3
6	4	45	3
8	6	30	3

Para casos especiales que no figuren se deberá calcular la acometida con base en la regulación permitida, la potencia demandada por la carga, el factor de potencia y el tipo de acometida aérea o subterránea. [4]

2.1.6 Alturas mínimas de seguridad

EPSA en su manual de instalación cuenta con alturas de seguridad que se deben tener en cuenta al momento de instalar las acometidas.

Los conductores aéreos en acometidas de baja tensión deben guardar las siguientes distancias mínimas medidas desde la superficie acabada del suelo, tal como se muestra en la Ilustración 1. [4]

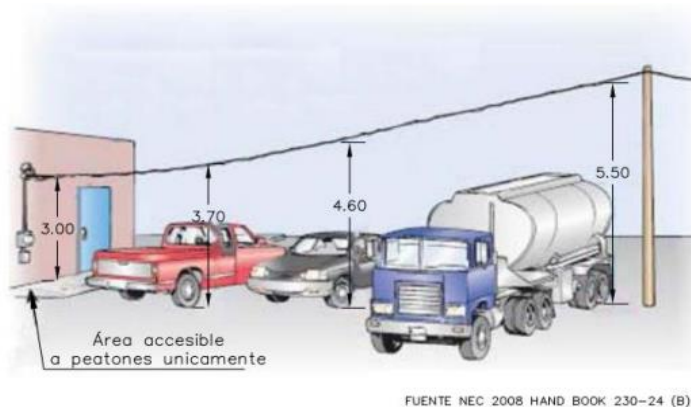


Ilustración 1. Alturas mínimas de seguridad para la instalación de Acometidas (EPSA)

3.0 metros desde la superficie acabada en zonas o aceras accesibles solo a peatones, hasta el punto de entrada de la acometida y/o hasta el punto más bajo del bucle de goteo de la entrada eléctrica al edificio. En ningún caso el punto de sujeción de la acometida a un edificio o a una estructura debe estar a menos de 3 metros sobre la superficie acabada del suelo. [4]

3.7 metros sobre edificios residenciales y vías públicas vehiculares sin tráfico de camiones para tensiones inferiores a 300 V a tierra. [4]

4.6 metros en las zonas mencionadas en el punto anterior para tensiones superiores a 300 V a tierra. [4]

5.5 metros sobre vías públicas y zona de parqueo con tráfico de camiones y vehículos pesados. [4]

Los conductores de acometida deben tener una separación horizontal no menor a 0.9 m de las puertas, ventanas, balcones, escaleras, salidas de incendio o sitios similares. Cuando los conductores son tenidos por encima o por debajo de la parte superior o inferior de una ventana, se permite que este a menos de 0.9 metros. [4]

2.1.7 Conexión de acometida

Al momento de realizar la conexión de la acometida existen diferentes configuraciones dependiendo del tipo de conductor y de red que se utiliza, **EPSA** cuenta con las siguientes configuraciones.

2.1.7.1 En redes abiertas

Un importante porcentaje de las redes eléctricas de distribución de baja tensión de EPSA en su zona de influencia, están construidas en redes abiertas con conductores desnudos o aislados. Las acometidas a instalar en este tipo de redes siguen las siguientes indicaciones: [4]

2.1.7.2 Red abierta con conductor desnudo

La derivación de acometidas de redes eléctricas abiertas con conductores de fase y neutros desnudos, se realiza conectándolas a estribos de cable de aluminio desnudo 4 AWG, adosados al conductor de distribución mediante conectores de compresión. Las acometidas individuales se conectan a los estribos con conectores tipo cuña, bimetálicos o de aluminio. [4]

2.1.7.3 Red abierta con conductor aislado

La derivación de acometidas de redes eléctricas abiertas con conductores de fase asilados y conductor de neutro desnudo, se realiza conectándolas a la red mediante conectores de perforación tipo tornillo. La conexión del conductor desnudo del neutro se realiza con estribos de cable de aluminio desnudos 4 AGW, adosados al conductor de distribución mediante conectores de compresión. Las acometidas individuales se conectan a los estribos con conectores tipo cuña, bimetálicos o de aluminio. [4]

2.1.7.4 En redes trenzadas

Las nuevas redes de distribución de baja tensión de EPSA se construyen en cables auto soportados suplex, triplex o cuadruplex de aluminio. En estas redes las acometidas se derivan directamente a la red trenzada a través de cajas de derivación de acometida tendiéndolas y tensionándolas entre el poste más cercano al cliente y el ducto de la acometida, mediante grapas tensoras de acometida. [4]

2.1.7.5 En redes especiales

Es un esquema contractivo de la empresa, que consiste en alejar la red secundaria y las cajas de derivación de acometida de los postes. La derivación de acometidas desde redes eléctricas especiales se realiza conectándolas a la red mediante conectores de perforación tipo tornillo. [4]

La ilustración 2 muestra el esquema general de la acometida aérea basado en el de la NTC 2050.

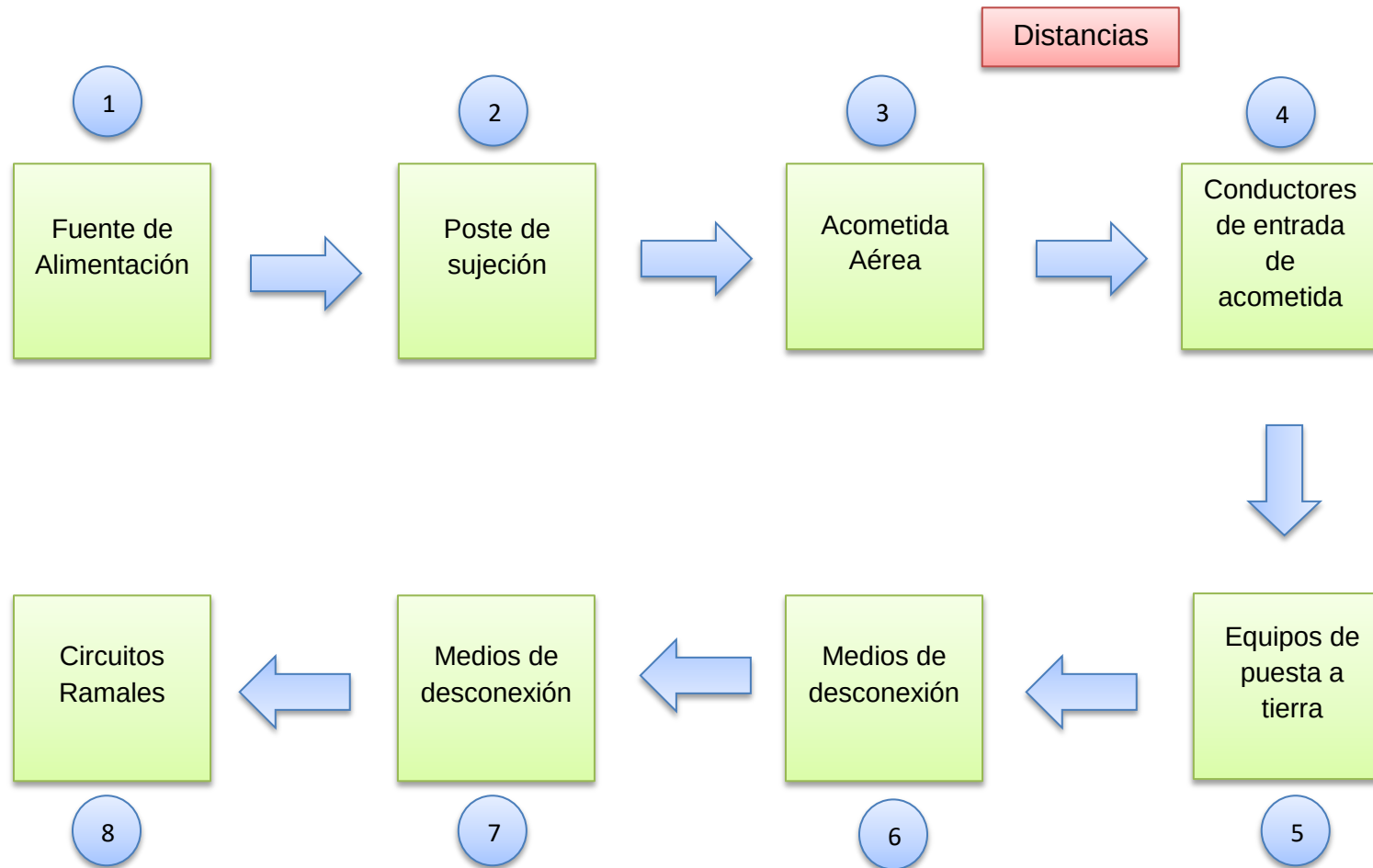


Ilustración 2. Esquema general de la acometida aérea basado en el de la NTC 2050.

- 1. Fuente de alimentación:** Líneas de distribución de energía eléctrica
- 2. Poste de sujeción:** Punto de inicio de la acometida
- 3. Acometida aérea:** Principalmente se manejan dos tipos aéreas y subterráneas, este trabajo de grado se enfocará en las acometidas aéreas de baja tensión.
- 4. Conductores de entrada de acometida:** Esta conexión debe soportar muchas condiciones atmosféricas y condiciones de uso, deben ser seleccionados de manera adecuada para el nivel de corriente que se esté utilizando.
- 5. Equipos de puesta a tierra:** Los equipos de acometida, canalización, blindajes y forros de cable y cualquier conductor de acometida deben ponerse a tierra.
- 6. Medios de desconexión:** En toda edificación donde haya acometida es necesario tener un medio de desconexión de todos los conductores a partir del conductor de acometida.
- 7. Protección contra sobrecorriente:** Los conductores no puestos a tierra deben tener protección contra sobre corriente. Esta protección debe estar cerca del medio de desconexión.

2.2 MÉTODOS DE DETECCIÓN DE CONDUCTORES

Para la detección de conductores ya sean subterráneos localizados dentro de tuberías, cables telefónicos o conductores de energía existe una serie de técnicas aplicando señales para poder detectarlos. A continuación se presentan algunos de ellas.

2.2.1 Método conductivo

Los transmisores se utilizan para energizar el conductor con un tono de localización. Un extremo del transmisor es conectado al conductor y el otro es conectado a tierra. Esta conexión debe estar perpendicular al conductor y tan lejos de él como sea posible. Esto crea un circuito que permite que una corriente fluya generando un campo magnético con forma cilíndrica alrededor del conductor. [5]

2.2.1.1 Aplicando la señal al transmisor

La señal puede ser aplicada al neutro tanto del primario como del secundario simplemente conectando el transmisor al gabinete del transformador. No hay necesidad de abrir el transformador ni de desenergizar ninguno de los conductores. Sin embargo, todos los neutros serán portadores de señal y puede ser difícil identificar un solo conductor. [5]

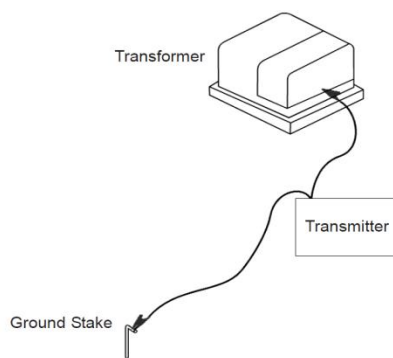


Ilustración 3. Esquema del método Conductivo aplicando la señal al transformador [5]

2.2.1.2 Aplicando la señal al medidor

Como el neutro del secundario conecta a tierra tanto en el medidor como en el transformador, es posible localizar conductores del secundario energizados conectando el transmisor directamente al medidor. El medidor es el mejor lugar para aplicar señales ya que el transformador tiene mejor puesta a tierra. Esto ocasionaría que la señal de localización sea más débil. Este método es más veloz ya que no es necesario abrir el transformador o abrir el sello del medidor. [5]

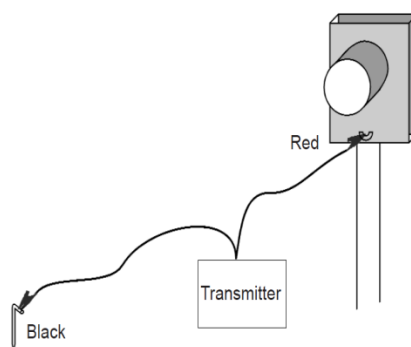


Ilustración 4. Esquema del método conductivo aplicando la señal al medidor [5]

2.2.2 Método Inductivo

La inducción es la transferencia de energía de un circuito a otro sin haber un contacto metal a metal. Es una manera de hacer conducir corriente cuando no se puede realizar una conexión física. Hay dos maneras de inducir corriente: la primera es utilizando una abrazadera, la abrazadera se ubica alrededor del conductor que se desea energizar y el otro extremo de la abrazadera se conecta al transmisor. La abrazadera genera un campo que induce una corriente al conductor que se desea localizar. La segunda consiste en utilizar una bobina integrada al transmisor. Se debe ubicar éste sobre el conductor. La energía generada en la bobina se transfiere al conductor ocasionando que éste adquiera la señal del transmisor. [6]

Con el uso adecuado de un transmisor (ubicación, orientación, frecuencia, potencia de salida) se puede determinar cuál conductor recibe la mayor señal y crea el mejor circuito de localización. La inducción en algunas ocasiones puede aislar circuitos. [6]

Ya que no se presenta una conexión directa, una pequeña porción de la señal del transmisor llega al conductor y eso limita la distancia para detectar un conductor. [6]

2.2.3 Localización por tonos

La combinación entre un generador y un localizador de tono usualmente se utiliza en sistemas telefónicos o para localizar cables. En sistemas como los telefónicos que tienen múltiples conexiones es imposible determinar que conexión va a qué lugar. [7]

Un generador de tono es un pequeño dispositivo electrónico que envía una señal cuadrada, sinusoidal o triangular a distintas frecuencias a través de un cable. El localizador de tono por su parte emite una señal auditiva o visual al detectar una actividad eléctrica en el cable. Al ubicar el generador de tono a un extremo del cable y el localizador al otro es posible determinar la ubicación de la terminación de un cable. [7]

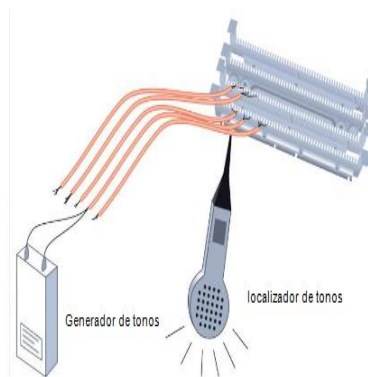


Ilustración 5. Esquema para la localización por tonos [7]

2.2.3.1 Generador de Señales

Existen una gran variedad de equipos para generar señales y con escasa normalización. Se denomina generador de señal a toda fuente de señal electrónica cuyas características como por ejemplo forma de onda, frecuencia, tensión se pueden establecer a valores fijos o se pueden ubicar dentro de ciertos límites. [8]

El generador de señales no mide ninguna magnitud, pero indica alguno de los parámetros de la señal entregada a la salida. Generalmente son utilizados en pruebas ensayos y en tareas de mantenimiento. Igualmente se utilizan en el desarrollo de circuitos electrónicos. [8]

El esquema de bloques elemental de un generador de señales consta de: un oscilador, con posibilidad de seleccionar su frecuencia; una etapa que determina la forma de onda de la señal y una etapa de salida donde se ajusta la amplitud y el nivel de continua de la señal entregada. [8]

Los generadores de señales se clasifican de acuerdo a su frecuencia y tipo de onda que permiten obtener. [8]

Cuando se habla de frecuencia no se refiere al ancho de banda de esta sino a la técnica empleada para generar la señal. Los principales grupos son los generadores de audio frecuencia (AF) (0.01 Hz- 10 MHz), generadores de radiofrecuencia (RF) (1 kHz o 10 kHz- 520 kHz o 4 GHz) y generadores de señales de microondas (10 MHz a 50 GHz). [8]

De acuerdo a su forma de onda se tiene generador de funciones, generadores de señales, osciladores, generador de barrido, generador de pulsos, generador de ruido, etc. [8]

2.3 TAXONOMÍA

Dado que era necesario tener un punto de partida para el desarrollo del sistema, se realizó una búsqueda en bases de datos de patentes de dispositivos para la identificación de conexiones eléctricas. A continuación se tiene una serie de dispositivos que fueron de interés para extraer elementos para el diseño del sistema de este trabajo.

2.3.1 Electric outlet and cable tracing method and apparatus

Numero de publicación: US 4734638 (A); **Fecha de publicación:** 28 Mayo 1986; **Inventor:** Harold. J. Weber; **Link:** <http://www.google.tl/patents/US4734638>

Resumen: El usuario puede identificar qué circuito está conectado con cualquier número de salidas o en cualquier otra terminación de un sistema eléctrico mediante el uso de una computadora de mano y un dispositivo detector. La operación del dispositivo consiste en pre ajustar la excitación de cada circuito introduciendo señales únicas a éstos. Esta señal se introduce en el tablero de potencia. El usuario procede a conectar el indicador en una salida éste mostrará un número entre 1 y 8, u otro display que le indicará al usuario en que circuito se encuentra conectado. [12]

A continuación se mostrara una visión general de la invención:

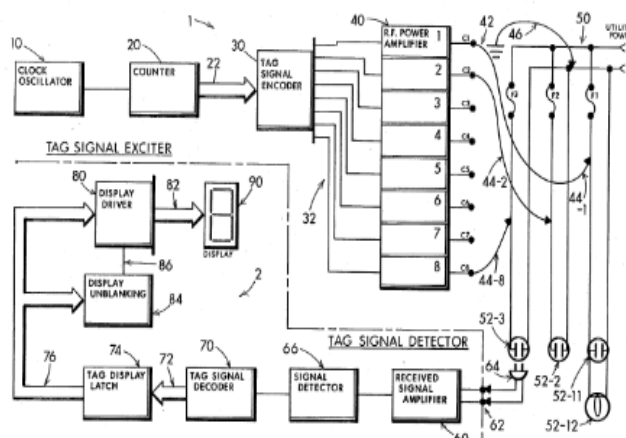


Ilustración 6. Diagrama de Bloques de un excitador de señales de etiqueta acoplado con un detector de señales de etiqueta por medio de circuitos típicos de cableado de edificio [12]

A continuación se tiene una descripción de los elementos del dispositivo. Cada elemento cuenta con un número que lo identifica como se observa en la ilustración 9.

El excitador de señales de etiqueta señalado con el **1** se encuentra acoplado al detector de señales de etiqueta marcado con el **2** a través de los circuitos eléctricos que pueden encontrarse en un edificio (**50**). [12]

En el excitador, un oscilador de reloj (**10**) produce una señal de alta frecuencia que se acopla por medio de un contador (**20**) teniendo varias salidas (**22**) a un codificador de señal de etiqueta (**30**). El codificador posee circuitos digitales que producen salidas de señales de tren de pulso de etiqueta en cada una de las líneas (**32**). Cada una de las señales de etiqueta consiste en una sucesión de pulsos de radiofrecuencia. Las señales poseen características distintas. Estas llegan a unos amplificadores de radiofrecuencia (**40**) produciendo una señal única e identificable en cada salida (**42**). [12]

El usuario del dispositivo debe conectar la tierra del excitador a la tierra del circuito de la edificación (**46**). Una vez hecho lo anterior debe conectar uno o más de las salidas del excitador a los circuitos del edificio que se desea identificar. Esto se realiza removiendo los fusibles (**F1, F2, F3**) para que cada circuito quede aislado. Se procede a conectar las salidas (**C1, C2, C8**) del excitador por medio de conectores (**44-1, 44-2, 44-8**) a cada uno de los circuitos. Esto da como resultado que cada uno de los circuitos sea alimentado con señales de radiofrecuencia cada una con diferente tren de pulsos que aparecerá en las salidas del circuito (**52-11, 52-12, 52-3, 52-2**). [12]

El detector es un dispositivo portátil con un tamaño aproximado de una caja de cigarrillos, que puede ser conectado a una de las múltiples terminaciones de los circuitos. En el diagrama se observa que un conector (**64**) sirve para conectarse a cada una de las salidas. Este conector puede ser intercambiable y se adapta a la parte principal del detector por medio de la conexión (**62**). Una porción de la señal de pulsos de radiofrecuencia llega a la entrada del amplificador de señal de entrada (**60**). Con la señal amplificada se alimenta el detector de señal (**66**) cuya función es recuperar los pulsos de la señal etiqueta de la señal de radiofrecuencia. Preferiblemente el detector está compuesto por un rectificador de señal y un circuito de control de nivel de la señal, por lo que es posible compensar la variación de amplitud de la señal de radiofrecuencia. [12]

La señal de pulsos de etiqueta recuperada llega a un decodificador de señal (**70**) que detecta qué combinación de pulsos es recibida, produciendo una señal binaria, preferiblemente BCD (**72**). Ésta se acopla a la entrada de un latch de display de etiqueta (**74**). La salida del latch (**76**) se acopla a un driver de display (**80**) que produce salidas (**82**) que puede estar en forma de 7 segmentos que alimenta un display digital (**90**). [12]

2.3.2 Electrical circuit tracing apparatus using modulated tracing signals

Numero de publicación: US1998/0119347; **Fecha de publicación:** 20 Julio 1998; **Inventor:** George R. Steber, Thomas M. Luebke, David L. Wiesemann; **Link:** <http://www.google.ca/patents/US6163144>

Resumen: El detector de circuitos eléctricos posee un transmisor que es conectado a uno de los circuitos del sistema eléctrico de un edificio y un receptor que se utiliza para identificar otros elementos del circuito como fusibles, switches, dispositivos eléctricos o breakers. El transmisor induce en el circuito una señal de corriente a alta frecuencia la cual es modulada a baja frecuencia. El receptor el cual incluye un sensor, está ajustado para detectar de manera inductiva la alta frecuencia cuando se coloca en el campo magnético del circuito y para producir señales auditivas y visuales las cuales varían en intensidad de acuerdo a la señal detectada. De esta manera el usuario puede utilizar su sentido visual o auditivo para asociar un elemento cercano al usuario con el elemento del circuito conectado al transmisor. [10]

Para el desarrollo de este dispositivo se tuvo en cuenta la necesidad de que fuese simple de operar, que el usuario no tuviese que ajustarlo manualmente, permitiese realizar la detección sin la necesidad de desenergizar el sistema. El dispositivo debe funcionar de manera adecuada ante la presencia de ruido generado por elementos dentro del circuito y no debe activar interruptores o breakers dentro del circuito. Para finalizar el dispositivo debería ser económico de fabricar. [10]

El transmisor consta de un generador de corriente que incluye un oscilador a baja y alta frecuencia además de un modulador de corriente. El oscilador y el modulador se conectan con la finalidad de inducir una señal de corriente a alta frecuencia que es modulada a baja frecuencia. [10]

El receptor tiene un circuito que incluye un captador inductivo que está sintonizado a alta frecuencia con el fin de inducir en él una corriente cuando la bobina es excitada por el campo magnético del circuito. También tiene un indicador de intensidad relativa de la señal el cual le indica al usuario la magnitud de la corriente en el captador. No es necesario que el usuario ajuste el receptor para identificar el circuito buscado, solo necesita utilizar su propia percepción sensorial para determinar si el circuito siendo probado es el que está conectado al transmisor, ya que la señal modulada producida por el transmisor será la más fuerte en ese circuito. [10]

La señal producida por el receptor puede ser visual o acústica. Si es una señal visual, se puede utilizar un display de leds. El número que se enciendan

dependerá de la magnitud de la corriente inducida en el captador. Si la señal es acústica, el volumen de la señal puede variar dependiendo de la magnitud de la corriente en el captador, preferiblemente un sonido fácilmente reconocible por el usuario. [10]

El captador se encuentra en una varita separado de la carcasa que alberga el indicador de intensidad relativa. Esta varita puede fabricarse pequeña para facilitar el acceso a circuitos con poco espacio. La carcasa está equipada con unos imanes lo que le permite fijarse a alguna estructura metálica, esto permite que el usuario solamente necesite una mano para operar el dispositivo. [10]

Adicionalmente el circuito del receptor cuenta con un filtro sintonizable pasa banda para mejorar la señal en presencia de ruido. La salida del filtro puede ser dirigida tanto a una salida de audio como a una salida visual. [10]

A continuación se presentan unas imágenes referentes al dispositivo.

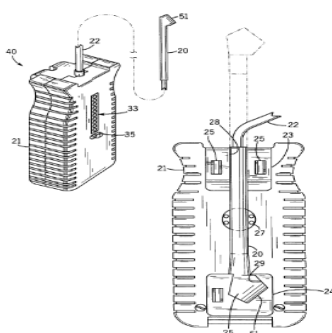


Ilustración 7. Vista en perspectiva del dispositivo receptor [10]

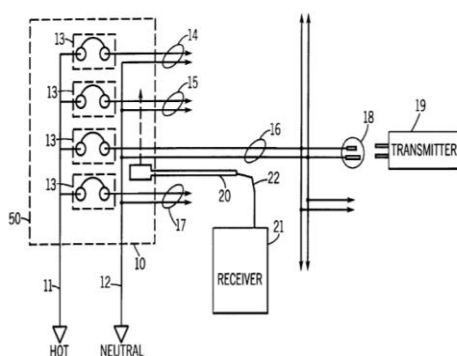


Ilustración 8. Diagrama parcial de un panel de distribución de energía e indicación de cómo se conecta el dispositivo en este tipo de sistemas [10]

2.3.3 Device for tracing electrical cable

Numero de publicación: US2003/0086537 A1; **Fecha de publicación:** 8 Mayo 2003; **Inventor:** James A. Schultz; **Link:** <http://www.google.ch/patents/US6963192>

Resumen: El dispositivo permite al instalador del cable o un trabajador de servicio no solo identificarlo dentro de un grupo de cables, sino además identificar múltiples cables de forma remota. Solo requiere que se conecte un dispositivo de pruebas a cada uno de los cables que se desea identificar. Adicionalmente la identificación es extremadamente fácil de realizar ya que la “etiqueta de identificación” es la propia voz del instalador o trabajador y esta puede ser escuchada en el extremo remoto utilizando equipo estándar industrial (teléfono, auriculares, sonda amplificadora, etc). [9]

Para realizar este trabajo se tuvo en cuenta que los dispositivos de detección de cables existentes son útiles para distancias cortas, pero para grandes distancias suelen ser ineficientes y requieren que el usuario recorra de un extremo a otro del cable desperdiciando tiempo útil. Por esta razón se vio la necesidad de crear un dispositivo que permita la detección de cables de manera eficiente cuyos finales sean remotos. [9]

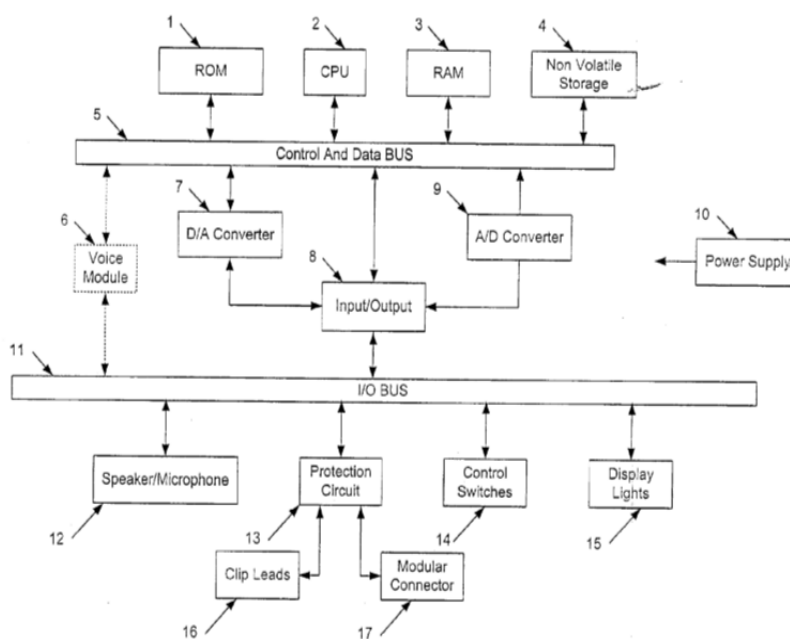


Ilustración 9. Diagrama de bloques del " DEVICE FOR TRACING ELECTRICAL CABLES" [9]

El dispositivo consta de una serie de elementos interconectados a través de un bus de control y de datos (5), además de un bus I/O (11). Una CPU (2) se encarga

de realizar el control del funcionamiento del resto de elementos. Esta CPU tiene adaptada unas memorias (3,4) las cuales guardan datos que permiten que la CPU realice sus funciones de control. A la CPU se conecta un módulo de voz (6) para grabar y reproducir, al igual que convertidores D/A (7) y A/D (9). [9]

Se tiene un micrófono y un parlante (12) que hace el papel de interfaz oral con la persona que esté realizando la detección, tiene un circuito de protección (13) el cual permite que se pueda conectar de manera segura el dispositivo de seguimiento a través de puntas de pinzas (16) o conectores modulares (17). También se tiene switches de control (14) y unas luces de visualización (15) para realizar el control manual del dispositivo. El dispositivo es alimentado por una fuente de alimentación (10) que puede ser una pequeña batería. [9]

El operario del dispositivo se encarga de grabar la localización del lugar utilizando el micrófono o el parlante. El dispositivo es conectado al final remoto del cable activando su modo de transmisión. En este modo el dispositivo introduce en el cable una señal de audio lo que es en esencia la ubicación del lugar donde se ha realizado la grabación. Hecho esto la persona realizando la detección puede seguir la señal a través del cable. [9]

2.3.4 Method and apparatus for tone tracing and tagging using mobile computer device

Numero de publicación: US 2015042307 (A1); **Fecha de publicación:** 11 Agosto 2013; **Inventor:** Sameer Cholayill; **Link:** <https://www.google.com/patents/US20150042307>

Resumen: La manera en que en la industria se detectan objetos como alambres, cables, tubos y bobinas sintonizadas es el de inyectar un tono conocido utilizando un generador de tonos a estos objetos ya sea por conducción o inducción. El invento es detector de tonos, también conocido como una sonda de tonos. Para detectar la presencia de dicho tono, se usa un micrófono o alguna entrada eléctrica de audio de una computadora móvil y una aplicación software corriendo en un dispositivo móvil tal como un “smarth-phone”. El uso de un dispositivo móvil reduce el costo de la sonda de tonos y otorga la facilidad de utilizar conexión de internet para comunicar y almacenar la información de la ubicación del objeto a detectar. El display del dispositivo móvil permite otorgar mayor información que una sonda de tonos típica. [11]

La presente invención usa circuitos electrónicos mínimos y utiliza la entrada de audio del dispositivo móvil para realizar el filtrado y la detección de la señal. El dispositivo móvil también permite exportar el etiquetado del conductor e información de la ubicación a un servidor. [11]

Una ventaja de la presente invención es que el dispositivo móvil tiene una pantalla más grande, así como audio y un zumbador para presentar la información al usuario. Esto permite que se puedan mostrar gráficas y tablas. También permite que más de una persona coordine la detección del conductor y de esta manera hacerla más rápido. Dispositivos móviles como los “Smartphone” permiten la comunicación por texto y voz. [11]

La invención mantiene el circuito analógico simple y fácilmente reproducible con algunas variaciones, no requiere de circuitos adicionales ni microprocesadores, el hardware tiene muy bajo costo. El técnico usualmente lleva consigo diferentes sondas de tono para detectar señales de rastreo. Se requiere de mucho entrenamiento para usar las interfaces de distintos equipos. La presente invención utiliza una sola interfaz pero con diferentes sondas dependiendo de la aplicación, presentado la información en una pantalla de un computador móvil. Las sondas tienen una pequeña pantalla LCD en la que no es posible presentar una gran cantidad de información. [11]

2.4 DISPOSITIVOS COMERCIALES DE DETECCIÓN DE CABLES

En el mercado existen distintos dispositivos encargados de detectar cables. A continuación se enumeran algunos de ellos.

2.4.1 Cable tracker PCE-180 CBN

Se compone de un emisor de señal y un receptor de alta sensibilidad. Para detectar el cable se tendrá que conectar el emisor de señal del tester de cables a la toma de la terminal y este emitirá una señal codificada al cable. Gracias a la emisión, con el receptor puede hacer un seguimiento de cable o alma, sin la necesidad de dañar el aislamiento o abrir paredes o canales de cables. En el analizador o receptor puede ajustar el volumen o sensibilidad. Puede verificar todas las líneas convencionales, cables de red y cables coaxiales. [13]

La tabla 6 muestras las especificaciones técnicas de este dispositivo:

Tabla 6. Especificaciones Técnicas del PCE-180 CBN [13]

Detector de cables	Mediante señales acústicas
Señal Acústica	Tono pulsador-Tono continuo
Rango de tensión	Cables desconectados de la tensión
Sensibilidad	Ajustable con el receptor
Conexiones	Enchufe RJ-11 y pinzas de cocodrilo
Condiciones de funcionamiento	0-50°C/5-95 % r.F.
Alimentación	2 baterías de bloque x 9 V
Dimensiones	Generador Señal: 60 x 65 x 30 mm
	Receptor: 245 x 60 x 30 mm
Peso	Generador Señal: 120 g
	Receptor: 140 g
Normativa	IEC / EN 61010- 1:01
Auriculares	Conector Jack

2.4.2 Cable detector PCE-191 CB

Sirve para la localización de cables y líneas eléctricas que se encuentran en la pared. Está compuesto de un transmisor y un receptor. El transmisor posee un conector que se conecta a un enchufe con tensión y emite una señal acústica a la línea bajo tensión. Ahora es posible seguir el cable a través del muro hasta el fusible. [14]

La tabla 7 muestra las especificaciones técnicas de este dispositivo:

Tabla 7. Especificaciones Técnicas del PCE-191 CB [14]

Detector de cables	Mediante señales acústicas
Rango de tensión	220-240 VCA
Rango de frecuencia	50/60 Hz
Conexiones	Enchufe Estándar
Alimentación	Transmisor: a través de la red
	Receptor: Batería de 9 V
Peso	300 g

Otras características son: Regulación de la sensibilidad, Construcción compacta y Seguridad: CE, IEC / EN 61010-1:01

2.4.3 Cable locator Fluke 2042

Se compone de un transmisor y un receptor. La señal emitida por el receptor se compone de una corriente modulada que origina un campo magnético alrededor del conductor. Este campo magnético induce una tensión en la bobina del receptor. [15]

La tabla 8 muestra las especificaciones técnicas de este dispositivo:

Tabla 8. Especificaciones Técnicas del Fluke 2042 [15]

Rango de medidas de tensión	Transmisor: 12-50-120-230-400 V
Rango de frecuencias	Transmisor: 0-60 Hz
Señal de salida	Transmisor: 125 KHz
tensión	Transmisor: hasta 400 V CA/CC
Localización de cables	cables en paredes y líneas subterráneas
Detección de tensión principal	Receptor : 0-0,4 m
temperatura de Trabajo	0 a 40°C
Altitud de Trabajo	Hasta 2000 m
Tamaño	Transmisor: 190 x 85 x 50 mm
	Receptor: 250 x 65 x 45 mm
Peso	Transmisor: 450 g
	Receptor: 360 g
Baterías	Transmisor: 6 pilas pc de 1,5 V
	Receptor: 1 pila pc de 9 V

2.5 MÉTODOS DE MODULACIÓN DE SEÑALES

El termino modulación de señales comprende el conjunto de técnicas para transportar la señal que contiene la información sobre una onda portadora. Estas técnicas permiten aprovechar de mejor manera el canal de comunicación lo que se traduce en transmisión simultánea de más información y en protección de la información de posibles ruidos e interferencias. [16]

Para realizar la modulación, se define una señal que actuará como señal base o señal portadora y otra señal que contiene la información que se desea transmitir denominada señal moduladora. La unión de ambas señales se conoce como señal modulada. Esta señal además de contener la información que se desea transmitir esta adecuada para transmitirla por un medio físico predeterminado. [16]

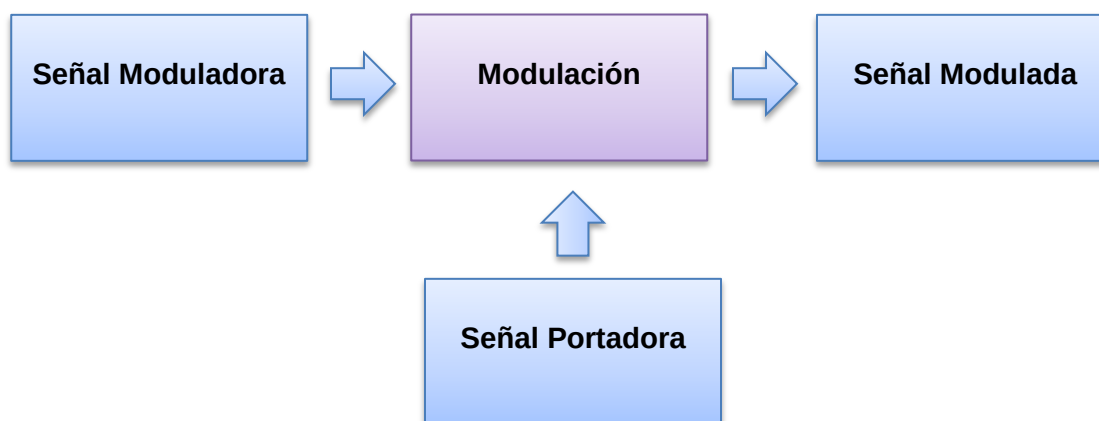


Ilustración 10. Esquema de la señal modulada tomado [16]

El tipo de modulación varía de acuerdo al tipo de señales moduladora y portadora. En general existen tres formas:

Modulación AM y FM: señal portadora analógica y señal moduladora analógica

Modulación ASK y FSK: señal portadora analógica y señal moduladora digital

Modulación PAM y PWM: señal portadora digital y señal moduladora digital

Debido a que es de interés para el desarrollo del dispositivo se ampliara la información de la modulación ASK y FSK.

2.5.1 Modulación ASK (Amplitudes-Shift Keying)

Esta modulación se basa en la variación de la amplitud para distinguir los datos de la señal moduladora, que en este caso al ser binaria serían un “1” lógico y un “0” lógico. [16]

Frecuentemente se usa para el valor de “0” una amplitud de 0 voltios y para “1” cualquier valor de amplitud, de esta manera se puede diferenciar sin dificultad un valor de otro y de esta manera evitar errores. [16]

La señal moduladora tendría la siguiente forma:

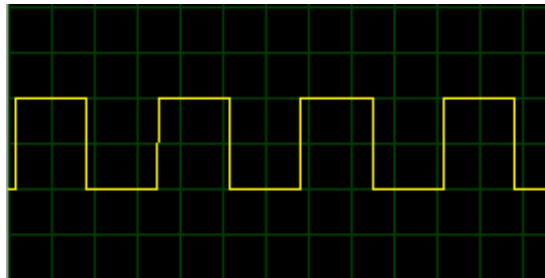


Ilustración 11. Representación de una señal binaria

La señal portadora es una señal sinusoidal con determinada amplitud y una frecuencia mayor que la frecuencia de la señal moduladora.

$$V_p(t) = A_p * \text{sen}(2 * \pi * f_p)$$

V_p : Voltaje señal portadora

A_p : Amplitud señal portadora

f_p : Frecuencia señal portadora

Las tres señales de la ilustración 10 presentarían la siguiente forma:

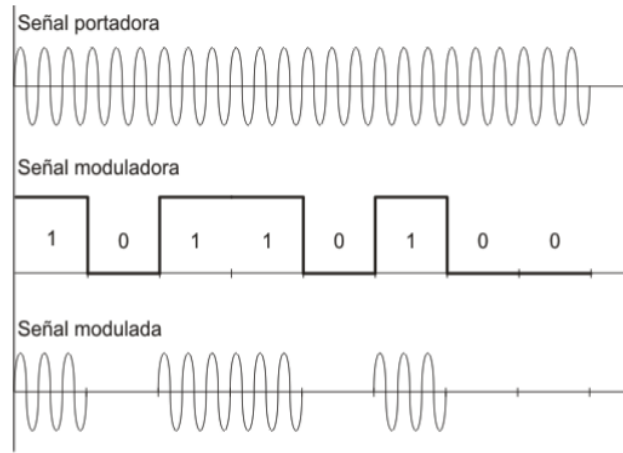


Ilustración 12. Señales de la modulación ASK tomado [16]

2.5.2 Modulación FSK (Frequency-Shit Keying)

La modulación FSK el elemento diferenciador deja de ser la amplitud de la onda y pasa a ser la frecuencia a la que es transmitida el dato. [16]

La señal moduladora es exactamente la misma a la de la modulación ASK. Respecto a la señal modulada, al modificar la frecuencia se tendrán dos señales que representan ambos valores:

$$V_p(t) = A_p * \text{sen}(2 * \pi * f_{p0}) \rightarrow \text{nivel bajo}$$

$$V_p(t) = A_p * \text{sen}(2 * \pi * f_{p1}) \rightarrow \text{nivel alto}$$

Estas frecuencias deben tener valores lejanos para poder distinguir con facilidad la variación.

Las tres señales de la ilustración 10 presentarían la siguiente forma:

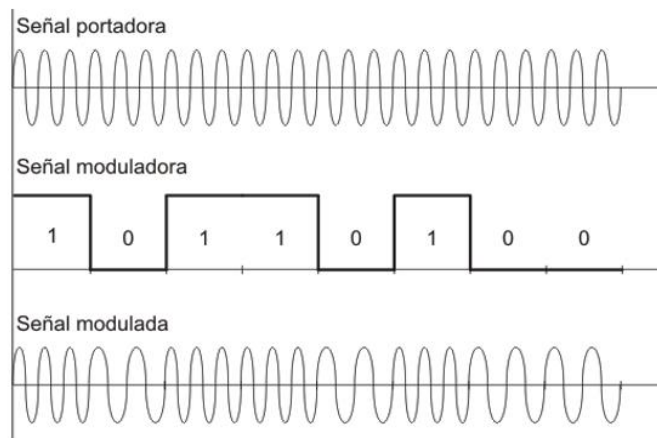


Ilustración 13. Señales de la modulación FSK tomado de [16]

2.6 ENCUESTA – PROBLEMÁTICA DE LAS ACOMETIDAS DE LOS USUARIOS DE BAJA TENSIÓN

Para poder comprender de mejor manera la problemática que se tiene con las acometidas de los usuarios de baja tensión se diseñó una encuesta que se diligenció a funcionarios de las empresas prestadoras del servicio eléctrico en Colombia. En la tabla 9 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 9. Resultados obtenidos de la encuesta- PROBLEMÁTICA DE LAS ACOMETIDAS DE LOS USUARIOS DE BAJA TENSIÓN

Preguntas	Encuestados			
	Christian Andrés Hernández Peláez, Coordinador Servicios de Ingeniería, DICEL SA ESP	Javier Saavedra Escobar, Ingeniero de apoyo Térmico Eléctrico, EPSA	Héctor E. Peña G, Profesional Operativo II, EMCALI	Jesús Alvarado Vergara, Profesional Experto, Codensa SA ESP
1-¿Qué problemática ha identificado su empresa con relación a la instalación, revisión y mantenimiento de las acometidas de sus clientes?	El mayor inconveniente surge al acordar la ejecución del mantenimiento entre cliente, operador de red y representante de la frontera	Dificultad en identificar qué acometida es de cada cliente, distancia entre el transformador y el cliente, cuando hay demasiadas acometidas en el mismo transformador, estado de la acometida, intolerancia de la comunidad ante algún daño, sitios con problemas de orden público e Interrupciones internas en la acometida	Oportunidad en la actualización de la información	Los proceso de vinculo son muy dinámicos, se realiza actualización de los VCT y en poco tiempo se desactualizan
2-¿Qué tan frecuente se realiza mantenimiento y revisión a la Acometida de los usuarios?	Cuando es Requerido	Cuando es Requerido	Cuando es Requerido	Mensual
3-¿Aproximadamente cuantos mantenimientos y revisiones se realizan al año?	Menos de 20	Menos de 5	Menos de 40	Menos de 5
4-¿Cuántos operarios se encargan de realizar estos mantenimientos (revisiones)?	Dependiendo del alcance serian dos o cuatro personas	2 por cliente	12 (En total)	Cuadrillas de 2 personas. Cerca de 5 cuadrillas de control de pérdidas de energía
5-¿Qué equipo utilizan los operarios para realizar estos mantenimientos (revisiones)?	Equipos de protección personal y los indicados dependiendo del alcance de la actividad	Carro, Escalera, Herramienta de mano, Herramienta de seguridad personal, Demarcación de zona, Alicata, Corta frío y Tester de continuidad	PAD y Tableta	Para redes subterráneas equipo rastreador. En red aérea se realiza de forma visual
6-¿Cuál es el tiempo promedio que tardan en realizar estos mantenimientos (revisiones)?	Dependiendo del caso pueden tardar de 3 a 6 horas o de 1 a 7 días	Menos de 1 hora	Menos de 1 hora	De 1 a 3 horas
7-¿Cuáles son los principales problemas que reportan los operarios?	Generalmente problemas de ajuste en terminales y puntos de conexión (conectores y equipos).	Dificultad en identificar qué acometida es de cada cliente, inconvenientes con la distancia transformador-cliente y elevado número de acometidas en el mismo transformador.	Dificultad de acceso al sitio de la revisión por condiciones de seguridad	Las mayores dificultades son en redes subterráneas
8-¿Cuáles son las principales quejas que realizan los usuarios?	La necesidad de realizar limpieza en las subestaciones	Perdida de energía, Daño en electrodomésticos, Interrupción del tráfico peatonal y vehicular (Señalizaciones) y Demora en la reparación	Fallas en la prestación del servicio	-----

9-¿Qué alternativas se han planteado para solucionar estos problemas?	Programar mantenimientos con mayor frecuencia	Para pérdida de energía: Reparación de la acometida lo antes posible y revisión del estado de la energía de un vecino por parte del cliente. Para daño en electrodomésticos: Validación por un perito certificado, campañas de buen uso de la energía eléctrica y campañas de no saturación de los circuitos eléctricos internos Para interrupción del tráfico peatonal y vehicular: Marcar la zona de trabajo y usar el menos espacio posible Para demora en la reparación: Atención telefónica rápida, atención en corto tiempo de los daños reportados y enviar la pareja más cercana	Detección temprana de averías y reacción pronta ante eventos	Con Smart meter y tecnología de comunicación PLC, realizar la actualización en línea
10-¿Hay alguna restricción para los operarios al momento de realizar algún mantenimiento?	No existe restricción siempre y cuando cumplan con los procedimientos de seguridad establecidos en la compañía (reglas de oro)	Hay restricciones físicas del sitio donde está ubicado el transformador, restricciones de la disponibilidad de los clientes y los operarios deben estar debidamente entrenados, capacitados, autorizados para trabajo en alturas	Movilidad y tráfico vehicular	En algunos casos por riesgo eléctrico o por zonas de riesgo de hurto o atracos

Al analizar los resultados de la encuesta se obtuvo información de interés para el diseño del sistema. A continuación se enumera los principales aportes:

- Debe ser portable y de poco tamaño ya que las condiciones de trabajo de los operarios lo requieren y es el tamaño promedio de los implementos que utilizan.
- Debe tener un funcionamiento sencillo para no incrementar el tiempo que tardan los mantenimientos.
- Su implementación no debe poner en peligro la seguridad del operario ni la de los usuarios.
- Debe poderse utilizar entre dos operarios ya que normalmente es la cantidad que compone una cuadrilla.

2.7 CONCLUSIONES

Una vez realizado el proceso de caracterización de la acometida, analizado los métodos existentes para la detección de cables, realizada la búsqueda de patentes relacionadas con la detección de cables o circuitos y de dispositivos de detección de cables en el mercado, se decidió trabajar con un diseño basado en la patente ***Electric outlet and cable tracing method and apparatus***. Esta decisión se tomó debido a que brinda características indispensables para el sistema como portabilidad y sencillez de uso. Además tiene una descripción detallada de cada uno de los elementos que componen el diseño lo cual es de gran utilidad para tener como base.

El diseño realizado en este trabajo usó un sistema microprocesado con tecnología más moderna que la utilizada en la citada patente; sin embargo, para algunos componentes será necesario emplear electrónica análoga.

Del proceso realizado en este capítulo se obtuvieron algunos requerimientos técnicos que debe cumplir el sistema, como la distancia máxima a la cual debe poder realizar la identificación de la acometida, las características del conductor al cual se le introducirá la señal de identificación, el número de personas que se necesitarían para operar el dispositivo, y una serie de restricciones a las cuales se debe ajustar el sistema.

CAPITULO 3. SISTEMA DE DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ACOMETIDAS MONOFASICAS DE BAJA TENSIÓN DUPIN-17

A lo largo de este capítulo se muestra todo el proceso realizado para la construcción del diseño del sistema. Se inició con la descripción del problema a solucionar, se planteó los requerimientos que debía cumplir y se construyó el diagrama general. Para cada uno de los elementos que componen el sistema se plantearon distintas alternativas de implementación, se respaldó las decisiones tomadas a través de simulaciones. Para finalizar, se construyeron alternativas de algoritmo de identificación para el sistema y se seleccionó el que se consideró más adecuado.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Para las empresas prestadoras del servicio eléctrico en Colombia es importante realizar un control y seguimiento a los usuarios que se encuentran conectados a sus transformadores de distribución. Inicialmente se tiene una distribución, esta sufre cambios debido a maniobras o a la introducción de nuevos usuarios al sistema, estos cambios no son actualizados de manera inmediata a la base de datos del sistema ocasionado problemas tanto a las empresas como a los usuarios.

Para solucionar esto se plantea el diseño de un dispositivo (sistema inteligente) electrónico para la verificación e identificación de las acometidas de usuarios monofásicos en transformadores de distribución de baja tensión. Este dispositivo debe contar con las características adecuadas para asegurar un correcto funcionamiento y resultados satisfactorios. Además debe ser de fácil manejo para los operarios encargados de realizar las revisiones o mantenimientos.

3.2 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Para realizar el diseño del sistema se tiene una serie de requerimientos técnicos los cuales se enumeran a continuación:

1. Debe ser portable y de preferiblemente de poco tamaño para facilitar su manipulación por parte de los usuarios.

2. Debe contar con alimentación de baterías recargables para abastecer los circuitos del sistema. Para aumentar la capacidad de tensión se considera utilizar baterías en serie respaldadas por un capacitor.
3. Debe tener la capacidad de transmitir la señal de identificación a lo largo del conductor de acometida a una distancia máxima de 30 metros garantizando que sea posible su detección.
4. Debe ser capaz de recibir e identificar la señal transmitida ya sea ésta una serie de pulsos de frecuencia o una señal codificada.
5. Debe contar con un indicador que permita visualizar la señal de identificación que se está detectando.

3.3 DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA

El diseño conceptual planteado para el dispositivo se muestra en la ilustración 14 y consta de dos elementos principales: un generador y un detector de tonos de identificación.

El generador consta de un oscilador de reloj, un contador, un codificador de señales de identificación y amplificadores de radio frecuencia. El detector por su parte consta de un amplificador y detector de señales, un decodificador de señales de identificación y de un display.

Es importante recalcar que el diseño teórico se implementó con electrónica microprocesada, por tal motivo se tiene un segundo diagrama de bloques que se muestra en la ilustración 15.

Para cada uno de los elementos del sistema se realizó una descripción y en algunos casos se presentaron diferentes alternativas, de las cuales se seleccionaron las más adecuadas, o en su defecto las que presentaron menos inconvenientes al implementarlas.

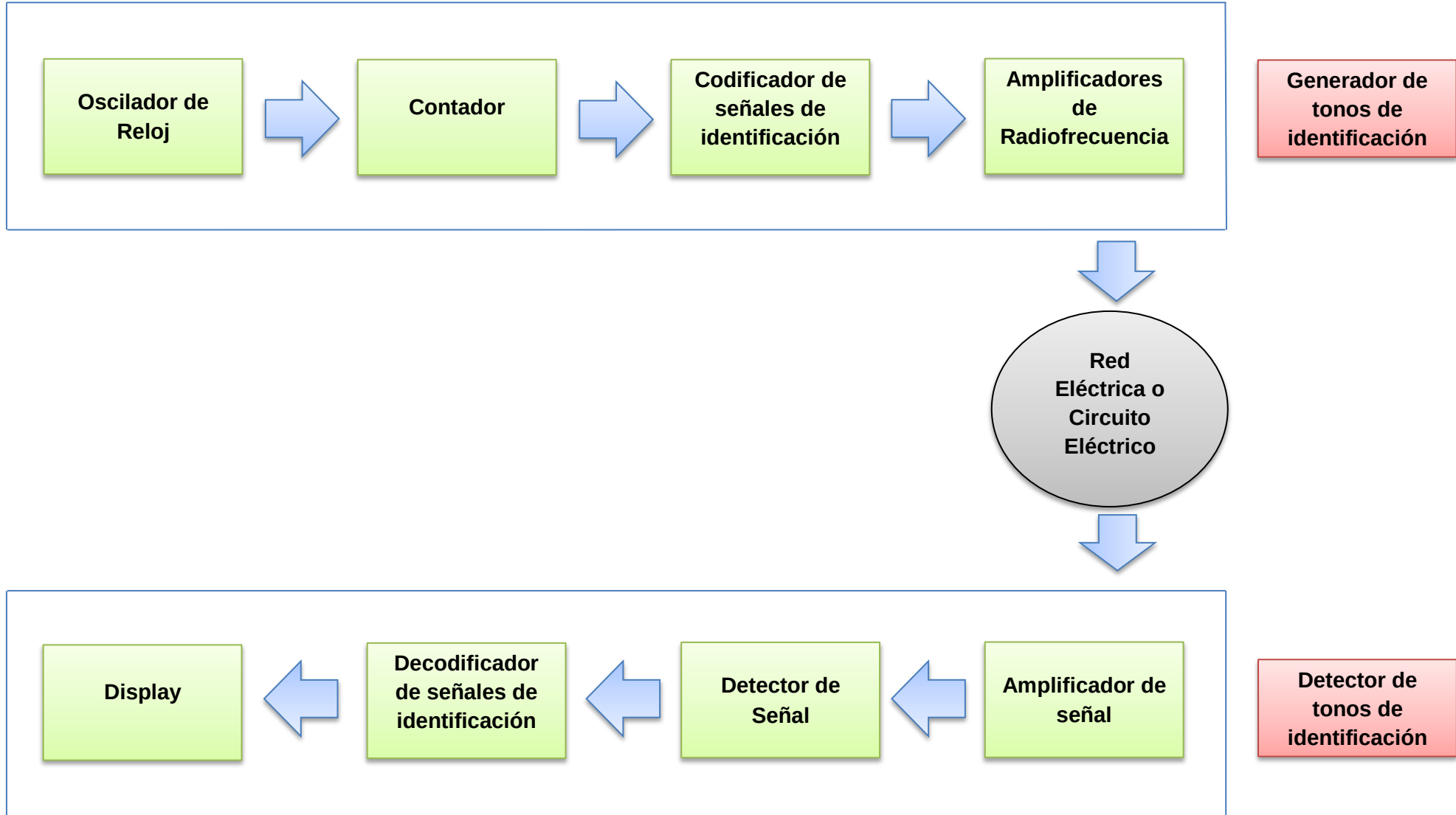


Ilustración 14. Diagrama de Bloques teórico del sistema electrónico para la verificación e identificación de acometidas monofásicas de baja tensión.

Aplicando el modelo anterior con electrónica microprocesada se obtiene la versión a desarrollar para el sistema.

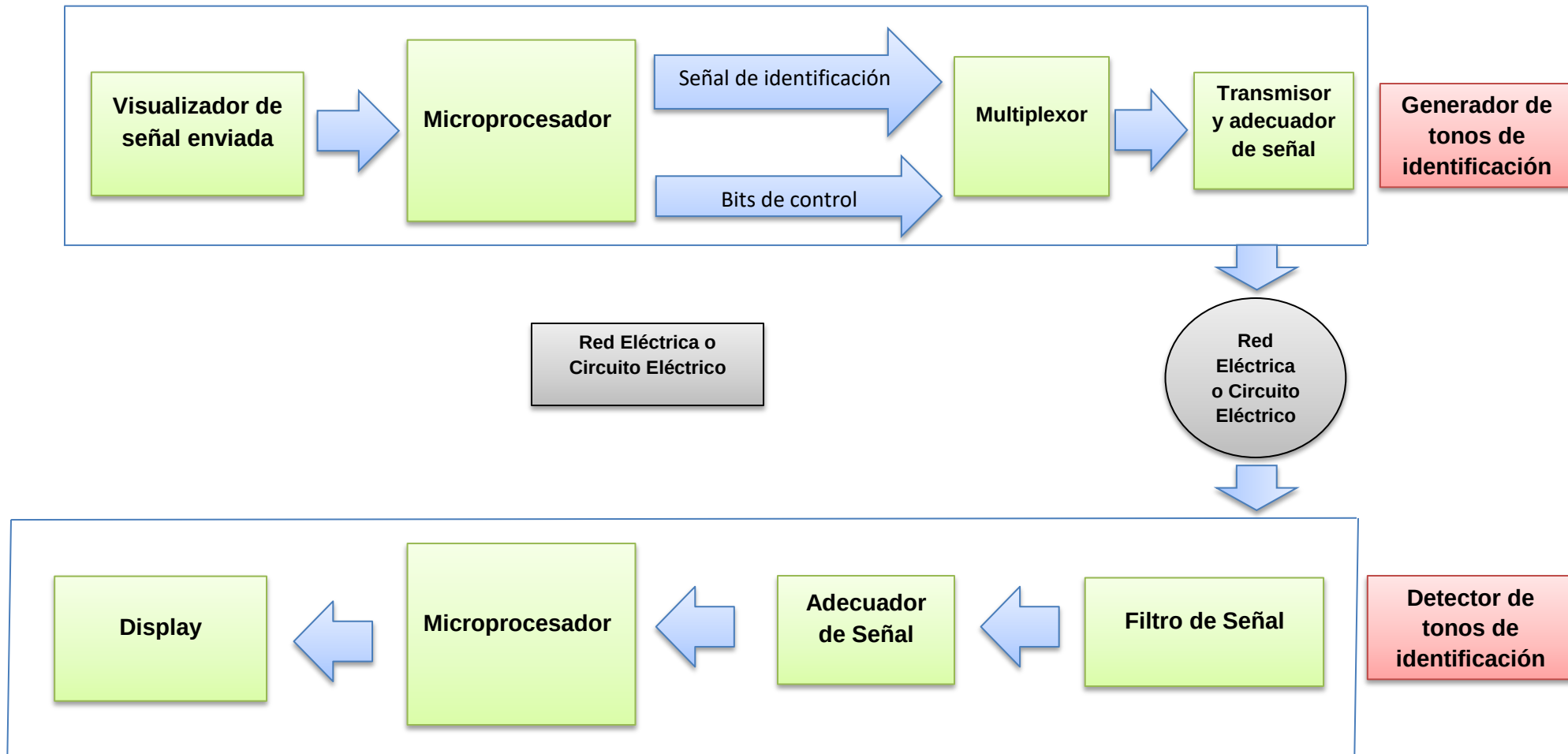


Ilustración 15. Diagrama de Bloques implementado del sistema electrónico para la verificación e identificación de acometidas monofásicas de baja tensión

3.4 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA

A continuación se realiza una descripción de cada uno de los elementos que componen al generador y al receptor del sistema, después de verificar las distintas alternativas para cada uno de los elementos y las opciones que brinda el mercado.

3.4.1 Plataforma (Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board)

Es una plataforma de evaluación de bajo costo de microcontroladores basados en ARM® Cortex™ -M4F. El diseño de la serie C destaca la interfaz del dispositivo microcontrolador USB 2.0 TM4C123GH6PMI, módulo de hibernación y el módulo de control de movimiento con un modulador de ancho de pulso MC PWM. También cuenta con botones programables RGB LED para aplicaciones personalizadas. La ilustración 16 muestra la composición de la plataforma, la tabla 10 algunas de las características técnicas de esta. [17]

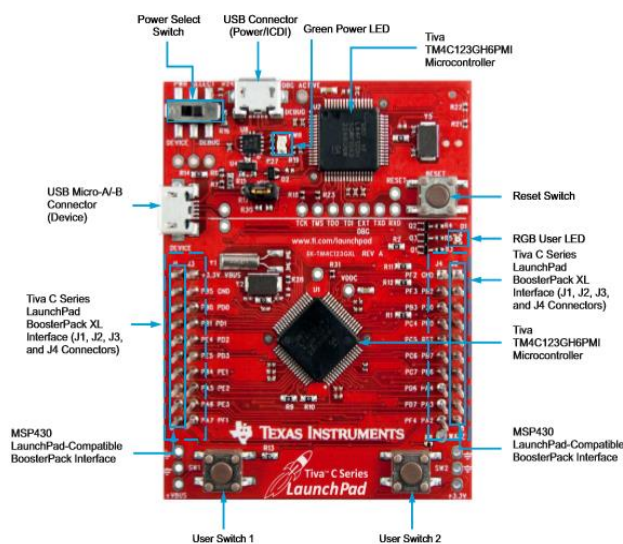


Ilustración 16. Imagen de la Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board [17]

Se tomó la decisión de trabajar con esta plataforma ya que cuenta con un tamaño idóneo para el desarrollo del dispositivo. Desde el punto de vista eléctrico brinda la capacidad de corriente necesaria para la transmisión de las señales de identificación. A diferencia de la plataforma Arduino la tarjeta Tiva cuenta con la robustez necesaria para trabajar en un ambiente industrial. Además pensando a futuro cuenta con la flexibilidad para adicionar funcionalidades extras al dispositivo.

Tabla 10. Especificaciones de la Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board [17]

Parámetro	Valor
Voltaje de Alimentación	4,75 VDC a 5,25 VDC
Dimensiones	5 cm x 5,715 cm x 10,795 cm (L x A x A)
RoHS	Cumple
Microcontrolador	80MHz 32-bit ARM Cortex-M4
Memoria Flash	256KB
Memoria SRAM	32KB
Memoria EEPROM	2KB
USB	2.0 Host

3.4.2 Microcontrolador TM4C123GH6PM

Los microcontroladores Tiva™ de la Serie C proporcionan a los usuarios una arquitectura de alto rendimiento basada en ARM® Cortex™-M con un amplio conjunto de capacidades de integración y un fuerte ecosistema de herramientas de software y desarrollo. Esta serie ofrece un Cortex-M de 80 MHz con unidad de coma flotante (FPU), una variedad de memorias integradas y múltiples entradas y salidas de uso general (GPIO) programables. Ofrece soluciones atractivas y rentables mediante la integración de periféricos y proporcionando una completa librería de herramientas de software las cuales minimizan el tamaño de la placa y el tiempo de ciclo del diseño. [18]

Tabla 11. Características del Microcontrolador TM4C123GH6PM tomado de [18]

Característica	TM4C123GH6PM
CPU	ARM Cortex-M4F
Pin y Paquete	64LQFP
Flash (KB)	256
Canales DMA	32
EEPROM (KB)	2
Pines de Captura	24
Módulo de hibernación	Si
IEEE 1588	No
Gestor de arranque en ROM	Si
Comparadores Digitales	16
Aceleradores Crypto HW	No
SRAM (KB)	32
Temporizadores CCP	24
Aceleradores CRC	No
Velocidad Máxima (MHz)	80
Salidas de movimiento PWM	16
Temperatura de Operación (°C)	-40 hasta 105

3.4.3 Multiplexor (CD 4051)

Para poder coordinar las múltiples salidas del sistema se utilizará un multiplexor análogo. Se observó una serie de alternativas del mercado y se optó por trabajar con el CD4051B el cual cuenta con 8 canales controlados por 3 entradas binarias A, B, C. La ilustración 17 muestra la distribución de pines del integrado CD4051B.

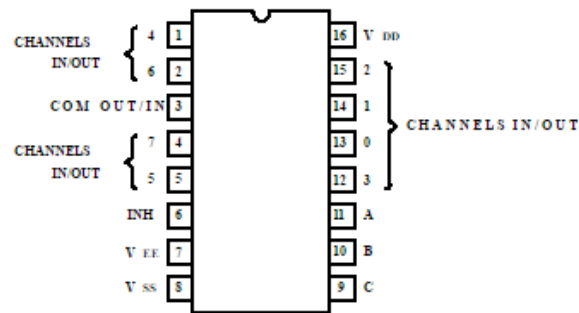


Ilustración 17. Distribución de pines integrado CD4051 tomado de [19]

La ilustración 18 muestra el diagrama funcional de bloques el cual se obtuvo del datasheet del integrado.

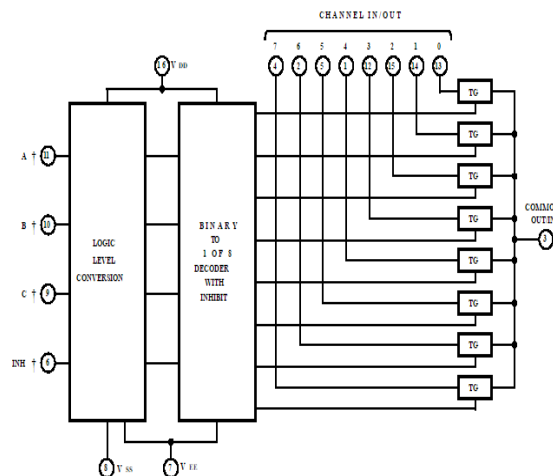


Ilustración 18. Diagrama funcional de bloques del integrado CD4051 tomado de [19]

En la tabla 12 representa la tabla de verdad del integrado, en la cual se observan las configuraciones de las señales de control para activar cada una de las salidas.

Tabla 12. Tabla de verdad del integrado CD4051

INH	C	B	A	Salida Activada
0	0	0	0	Salida 0
0	0	0	1	Salida 1
0	0	1	0	Salida 2
0	0	1	1	Salida 3
0	1	0	0	Salida 4
0	1	0	1	Salida 5
0	1	1	0	Salida 6
0	1	1	1	Salida 7

3.4.4 Dispositivo transmisor y receptor del sistema

Para el diseño del transmisor y receptor del sistema se analizaron dos alternativas de trabajo, la primera consistía en trabajar con dos tarjetas Tiva C programables y la segunda realizar la transmisión de la señal implementando integrados de la familia XR los cuales se pensó utilizar para realizar una modulación FSK.

3.4.4.1 Dispositivo transmisor y receptor del sistema utilizando la tarjeta Tiva C

Para la transmisión y recepción de datos se consideró la alternativa de trabajar con la tarjeta de desarrollo Tiva C presentada en el numeral 3.4.1.

Para la transmisión de datos se analizaron dos alternativas de algoritmo de transmisión de datos:

- 1) Cada acometida se le asigna una señal de pulsos a una frecuencia establecida
- 2) Cada acometida se le asigna un código y se utiliza una codificación BFSK (**Binary Frequency-Shift Keying**).

Para cualquiera de estas opciones se tendría que programar a tarjeta Tiva con un lenguaje similar al de la plataforma Arduino. Estos algoritmos se encuentran en la sección de descripción de software del sistema.

3.4.4.2 Dispositivo transmisor y receptor del sistema utilizando integrados de la familia XR

Para la transmisión de la señal de identificación una de las alternativas que se analizó consistió en trabajar con la modulación FSK, para lo que se emplearían los integrados XR-2206 y XR-2211. La ilustración 19 muestra la configuración proporcionada en el datasheet del integrado XR-2206 para trabajar como generador FSK.

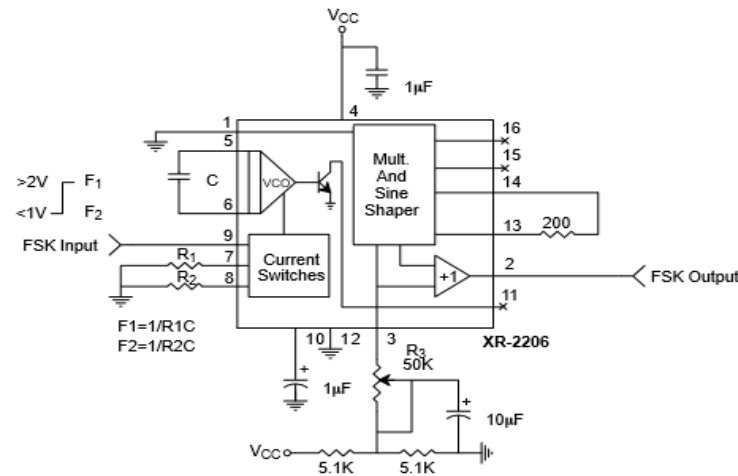


Ilustración 19. Configuración generador FSK del integrado XR-2206 [20]

El XR-2206 puede operarse con dos resistencias de temporización, R_1 y R_2 conectadas a los pines 7 y 8 respectivamente. Dependiendo de la polaridad de la señal lógica en el pin 9 se activa uno u otra. Si el pin 9 se encuentra en circuito abierto o si es alimentado por una señal mayor o igual a 2 V se activa R_1 ; de manera similar si el pin 9 es alimentado con una señal menor o igual a 1 V se activa R_2 . Por lo tanto, la frecuencia de salida puede trabajarse entre dos valores F_1 y F_2 . [20]

$$F_1 = \frac{1}{R_1 C} \quad F_2 = \frac{1}{R_2 C}$$

El circuito más usado para demodular las señales FSK binarias es el circuito de fase cerrada (PLL) cuyo esquema se muestra en la ilustración 20.

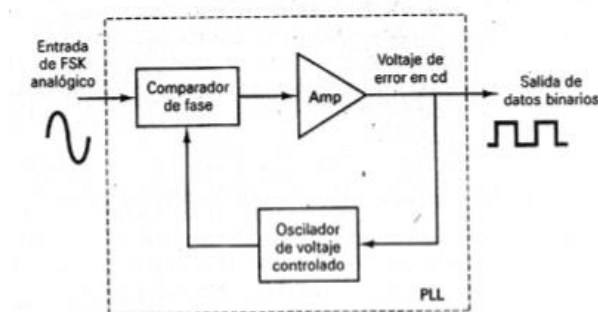


Ilustración 20. Circuito de fase cerrada (PLL) tomado de MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN FSK: FREQUENCY SHIFT KEYING

Conforme cambia la entrada al PLL, el voltaje de error de DC a la salida del comparador de fase sigue el desplazamiento de la frecuencia. Debido a que solo hay dos frecuencias de entrada en la salida solamente habrá dos voltajes de error.

Uno representa un “1” lógico, y el otro, un “0” lógico. La frecuencia general del PLL se hace igual que la frecuencia central del modulador FSK. Debido a esto, los cambios en el voltaje de error, siguen a los cambios de la frecuencia de la entrada analógica y presentan simetría alrededor de 0 Volts.

Para realizar la demodulación se puede trabajar con el integrado XR-2211. La ilustración 21 muestra la configuración entregada en el datasheet del integrado para trabajar como demodulador. [21]

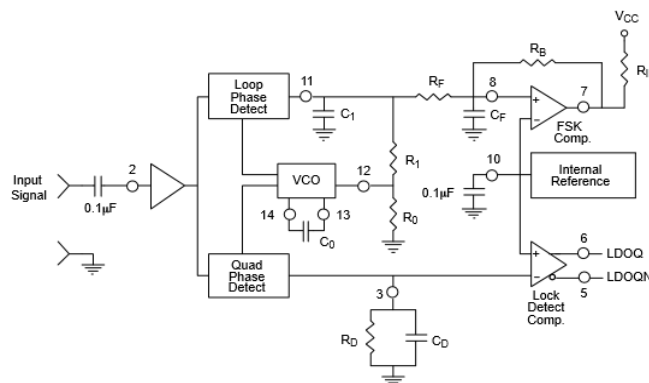


Ilustración 21. Configuración demodulador FSK del integrado XR-2211 tomado de [21]

La señal modulada entra por el pin 2 mientras que el VCO es controlado por los pines 12 y 13 y 14. En estos se define la frecuencia central del VCO. En el pin 10 se modifica el voltaje de referencia de los dispositivos internos. El pin 8 casi siempre viene realimentado de su salida pin 7. Analizando la configuración para demodulador FSK del integrado XR-2211 se requiere de una serie de elementos los cuales cumplen una función específica. [21]

R_0 y C_0 fijan la frecuencia central PLL; R_1 fija el ancho de banda del sistema; C_1 , C_F y R_F ajustan las variables referentes a los filtros. La resistencia R_B introduce realimentación positiva al comparador FSK para facilitar la rápida transición entre los estados lógicos de salida. [21]

3.4.5 Acondicionadores de la señal de identificación

Ya que la señal utilizada para identificar la acometida será transmitida por un conductor de una distancia máxima de 30 m, puede sufrir de atenuaciones. Por lo tanto, se plantearon dos alternativas para adecuar la señal y que pudiera llegar sin inconvenientes al receptor.

3.4.5.1 Acondicionamiento utilizando amplificadores operacionales como comparadores o comparadores comerciales

Un comparador es un circuito electrónico, ya sea análogo o digital, capaz de comparar dos señales de entrada y variar la salida en función de cuál es mayor. Éste está compuesto por un amplificador operacional en lazo abierto. Suele usarse para comparar una tensión variable de entrada V_{in} con una tensión de referencia V_{ref} . [23]

El comparador hace que si la tensión de entrada en el borne positivo es mayor que la tensión conectada al borne negativo, la salida V_{out} será igual a $+V_{cc}$; en caso contrario, la salida tendrá una tensión $-V_{cc}$.

$$\text{si } V_{in} > V_{ref} \rightarrow V_{out} = +V_{cc}$$

$$\text{si } V_{in} < V_{ref} \rightarrow V_{out} = -V_{cc}$$

Se planteó el uso de dos comparadores: uno ubicado en el transmisor y otro en el receptor, los cuales pueden ser comerciales o amplificadores operacionales en configuración de comparador.

Ya que el diseño del transmisor cuenta con 8 salidas, se consideró trabajar con 8 comparadores LM311, lo que complicaría considerablemente el diseño de la tarjeta. Esto se solucionó trabajando con el integrado LM324 que cuenta con 4 amplificadores operacionales independientes con una alta ganancia de tensión y alimentación común. La ilustración 22 muestra el esquema de pines de este integrado.

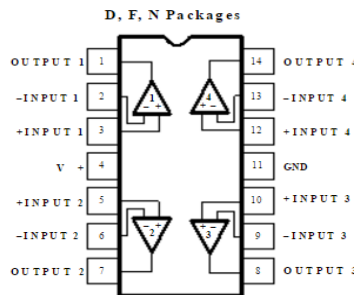


Ilustración 22. Esquema de pines comparador LM324 [22]

La tabla 13 muestra algunas de las características técnicas de este integrado

Tabla 13. Características del integrado LM324 tomado de [22]

Parámetros	LM324
Voltaje de alimentación	32 V o ± 16 V
V_i	-0.3 hasta 32 V
VEE	-16 V
Corriente de entrada	50 mA
V_{io}	25 mV
Disipación de potencia	500 mW
Temperatura de operación	0 a 70 °C
Ganancia de voltaje	100 V/mV Tip

Debido a que el LM324 puede operar con tensiones hasta de + 32 V se alimentó a +12 V y se ajustó el voltaje de referencia a aproximadamente 1.6 V para de esta manera transformar la señal de 0 a 3.3 V entregada por la tarjeta Tiva C a una de 0 a 12 V. La ilustración 23 muestra la configuración de comparador no inversor para el amplificador operacional.

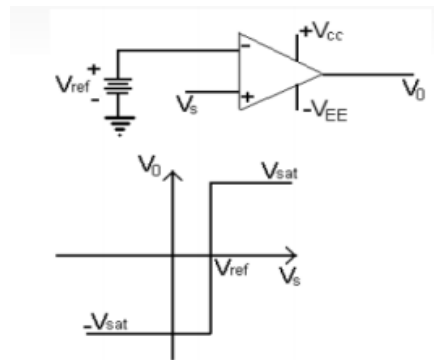


Ilustración 23. Comparador no inversor con voltaje de referencia positivo [23]

Ya que con la configuración actual se tiene una salida cuadrada de 0 a 12 V, se planteó la alternativa de tener una salida dual. Para ello se adicionó a cada una de las salidas del integrado, un acople AC compuesto por un condensador y una resistencia. Con este acople se suprime la componente DC de la señal transformándola a una de ± 6 V. Para seleccionar el condensador se tuvo en cuenta que su impedancia fuese lo más pequeña posible para no afectar el nivel de la señal de salida.

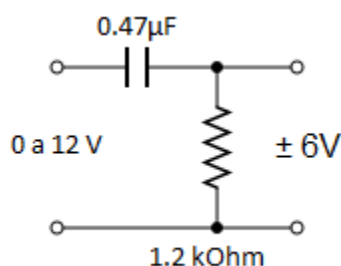


Ilustración 24. Diagrama circuital del acople AC para los integrados LM324

Para el comparador en el extremo receptor se trabajó de igual manera con ambas alternativas pero con la diferencia de tener histéresis, con la finalidad de evitar posibles ruidos. Para el comparador comercial se tomó la decisión de utilizar uno que tuviese Schmitt trigger y si se decide trabajar con un amplificador operacional la ilustración 25 muestra una configuración de comparador con histéresis.

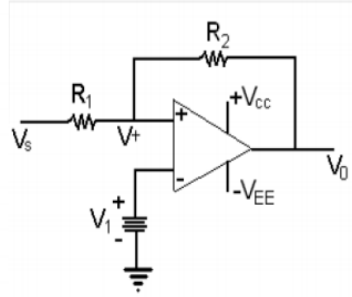


Ilustración 25. Comparador de Schmitt no inversor con desplazamiento [23]

Las ecuaciones que representan el comportamiento de esta configuración son las siguientes:

$$+V_{sat} \text{ a } -V_{sat} \text{ cuando } V_s < V_{ref} - V_T$$

$$-V_{sat} \text{ a } +V_{sat} \text{ cuando } V_s < V_{ref} + V_T$$

De donde

$$V_{ref} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) * V_1$$

$$V_T = \frac{R_1}{R_2} * V_{sat}$$

Dependiendo del tipo de salida que se tenga, el voltaje de referencia del comparador ubicado en el receptor puede ser 0 V o V+. Sin importar con cual se trabajó, a la tarjeta Tiva C del receptor ingresa una señal cuadrada de 0 a +3.3 V.

3.4.5.2 Acondicionamiento utilizando una fuente de corriente controlada por voltaje y un amplificador de instrumentación

Esta alternativa consiste en transformar la señal de tensión generada por la tarjeta Tiva C en una señal de corriente, para lo cual se utiliza un amplificador

operacional en configuración fuente de corriente controlada, como se observa en la ilustración 26.

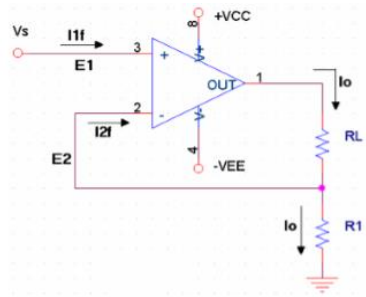


Ilustración 26. Fuentes de corriente controladas por voltaje con carga flotante tomado de [24]

Para esta configuración la corriente depende directamente de la tensión V_s y es inversamente proporcional a la resistencia R_1 . [24]

$$I_{1f} = I_{2f} = 0$$

$$E_1 = E_2 = V_s = I_o * R_1$$

$$I_o = \frac{V_s}{R_1}$$

Se debe ajustar el valor de la resistencia R_1 para que al momento en que la señal de entrada equivalga a 3.3 V se tenga en la salida una corriente de aproximadamente 20 mA. Esta señal de corriente se transmite a través del conductor. En el extremo del receptor se tiene un amplificador de instrumentación que recibe la señal de corriente y la transforma nuevamente en señal de tensión para luego amplificarla de acuerdo a la ganancia que se ajuste.

Se compararon las 2 alternativas enumerando los pros y contras de cada una de ellas y a partir de esto seleccionar la más adecuada para el sistema.

Tabla 14. Comparación entre la implementación del lazo de corriente y el lazo de tensión

	Lazo de tensión	Lazo de corriente
Pros	Menor complejidad de implementación Menor costo de implementación	Fuente de alimentación de menor capacidad (Tensión) Menor sensibilidad a perturbaciones No sufre disipación de señal en distancia largas No es tan sensible a variaciones de alimentación
Contras	Fuente de alimentación de mayor capacidad (Tensión) Mayor sensibilidad a perturbaciones Sufre disipación de señal en distancia largas	Mayor complejidad de implementación Mayor costo de implementación

A pesar de que la alternativa de trabajar con el lazo de corriente brinda mayores ventajas se tomó la decisión de trabajar con el lazo de tensión debido a que el montaje a realizar es más simple y los costos son significativamente inferiores.

Utilizando el software Proteus se simuló el comportamiento de los integrados seleccionados para el dispositivo. El transmisor cuenta con 8 salidas por lo tanto se utilizaron 2 integrados LM324. En la simulación se midió el voltaje directamente a las salidas y después del acople AC. Se observó que la variación en tensión a la salida del integrado era de 0.5 a 11.5 V, después del acople la tensión pasa a ser de -5.5 y 5.5 V. Se seleccionaron las frecuencias a los extremos del espectro para observar su forma de onda. Con respecto a las formas de onda se presenta una pequeña deformación que era esperada debido al acople AC implementado. La ilustración 27 muestra el esquema utilizado en la simulación y la ilustración 28 las formas de onda obtenidas para las señales de identificación 1 y 8.

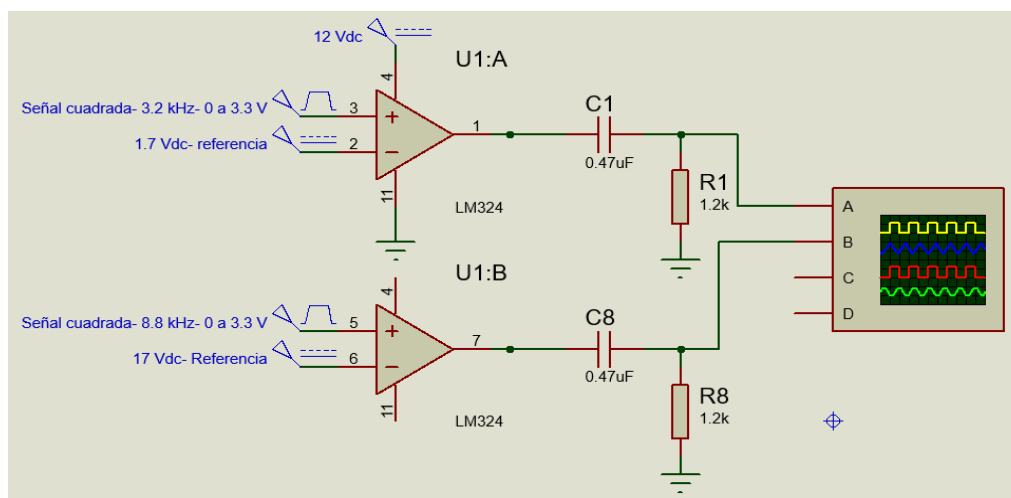


Ilustración 27. Esquema de simulación del amplificador operacional LM324 en el software Proteus

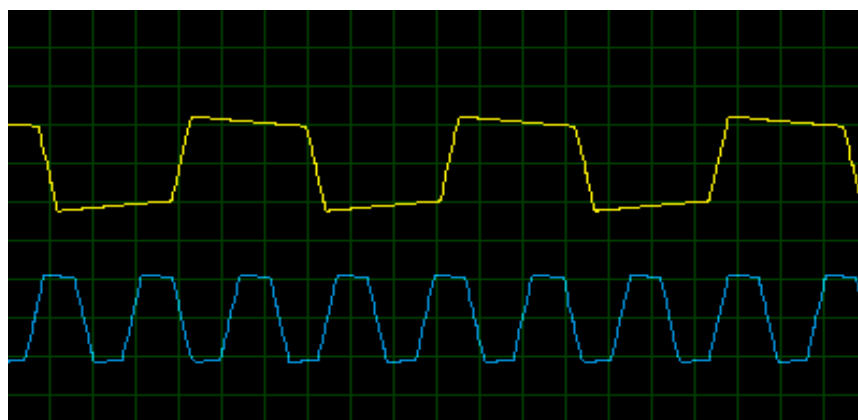


Ilustración 28. Formas de onda a la salida del transmisor para las señales de identificación 1 y 8 (3200 Hz y 8800 Hz) escala de 5V/cuadro

De igual manera se simuló el comportamiento del comparador ubicado en el receptor. La simulación se realizó contemplando las dos alternativas a implementar, la primera utilizando el comparador LM311, la segunda con el amplificador operacional LM741 en configuración de comparador. La ilustración 29 muestra el esquema utilizado para realizar la simulación.

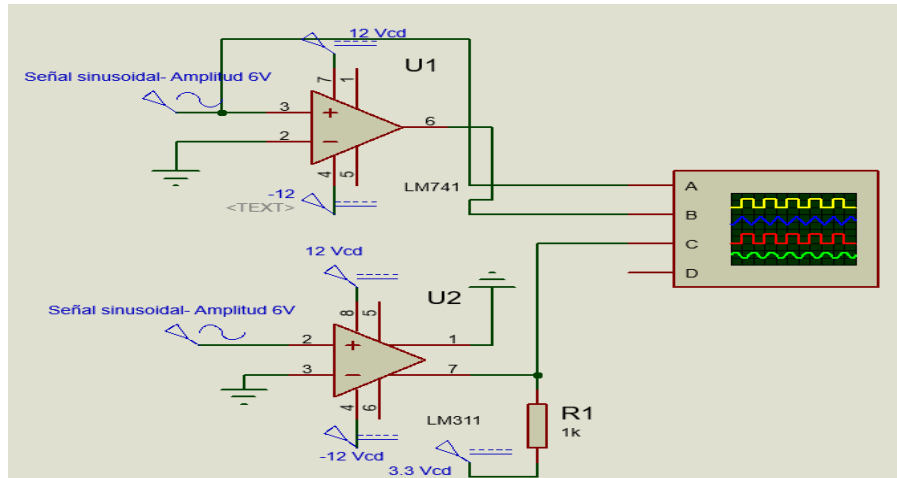


Ilustración 29. Esquema de simulación del comparador LM311 y el amplificador operacional LM741 en el software Proteus

En simulación se tomó la consideración de que al comparador llega una señal de -6 a 6 V. Esta señal puede tener tendencia sinusoidal debido a su paso a través del filtro pasabanda.

El amplificador operacional LM741 a su salida entregó una señal con tendencia sinusoidal de 0 a aproximadamente 12 V. Esta respuesta no es adecuada para trabajar con la tarjeta Tiva, ya que puede ocasionar que sufra daños. Esto se puede corregir adicionando a la salida del integrado un transistor trabajando con una configuración de colector abierto y una resistencia de pull-up a 3.3 V. Por su parte el comparador LM311 entregó una señal cuadrada de 0 a 3.3 V en el mismo sentido de la señal de entrada.

Analizando los resultados de la simulación se tomó la decisión de trabajar directamente con el comparador comercial LM311 ya que el voltaje de su señal de salida es mejor para trabajar con la tarjeta Tiva C. La figura 30 muestra las formas de onda obtenidas de la simulación.

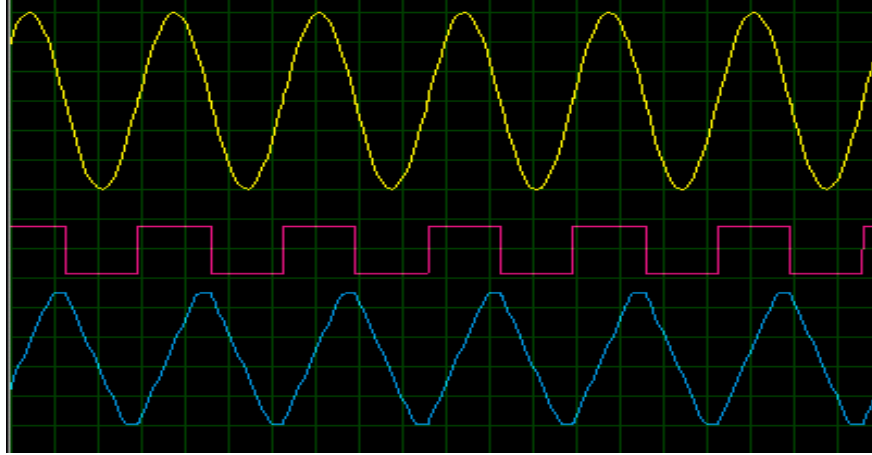


Ilustración 30. Formas de onda para la señal de entrada al comparador (Amarilla), entregada por el amplificador LM741 en configuración de comparador (Azul) y por el comparador LM311 (Roja) escala de 2V/división

3.4.6 Filtro de señal- Receptor

Durante el proceso de transmisión es muy probable que la señal de identificación se vea afectada por señales parásitas (Ruidos), afectando su forma de onda y dificultando la correcta adquisición del valor de frecuencia. Debido a esto, se debe diseñar un filtro pasa-banda que permita el paso de las señales de identificación y que suprima las señales parásitas.

Debido a que durante el proceso de filtrado se puede reducir el nivel de tensión de la señal de entrada se tomó la decisión de trabajar con un filtro activo. Este tipo de filtro permite además de filtrar la señal amplificarla. Para diseñar el filtro se siguió una serie de pasos los presentados a continuación.

Se inició calculando 3 parámetros fundamentales: el ancho de banda, la frecuencia central y el factor de calidad.

$$BW \text{ (Ancho de banda)} = f_1 - f_2$$

Se decidió ajustar el filtro pasa banda entre las frecuencias 2000 Hz y 12000 Hz. Esto con la finalidad de abarcar todas las frecuencias de identificación. Se tiene un ancho de banda de 10000 Hz.

$$f_o \text{ (Frecuencia central)} = \sqrt{f_1 * f_2} = 4898.9 \text{ Hz} \approx 4900 \text{ Hz}$$

$$Q \text{ (Factor de calidad)} = \frac{f_o}{BW} = 0.49 \text{ Hz}$$

Debido a que el factor de calidad es menor a 1 el filtro tiene una respuesta de banda ancha. Para estos casos se construye normalmente poniendo en cascada una etapa paso alto con una etapa paso bajo.

Para el filtro paso alto se conoce que la primera señal de identificación tiene una frecuencia de 3200 Hz por tal motivo se ajustó a 2000 Hz la frecuencia de corte. Se implementó un filtro Sallen-Key el cual tiene topología mostrada en la ilustración 31.

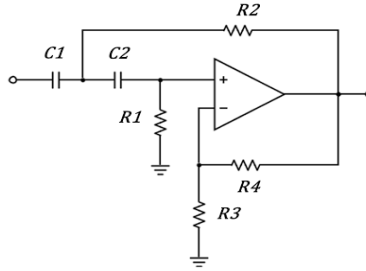


Ilustración 31. Filtro paso alto con topología Sallen-Key

Se seleccionó los capacitores del circuito, para C_1 es recomendable trabajar con valores entre 100 pF y 0.1μF.

$$C_1 = 4.7 \text{ nF}$$

Conociendo el valor de C_1 se obtiene C_2 que para esta configuración sería el mismo valor.

$$C_2 = 4.7 \text{ nF}$$

Siguiente se calculó el valor de la resistencia R_1

$$f_c = \frac{1}{2\pi C \sqrt{R_1 R_2}}$$

Antes de aplicar la anterior formula se debió considerar que para esta configuración $R_2 = \frac{R_1}{2}$.

$$R_1 = \frac{\sqrt{2}}{2\pi f_c C} = \frac{\sqrt{2}}{2 * \pi * 2000 * 4.7 * 10^{-9}} = 23.944.5 \Omega \approx 24 \text{ k}\Omega \text{ comerciales } 22 \text{ k}\Omega \text{ o } 27 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{23.994,5}{2} = 11.997,25 \Omega \approx 12 \text{ k}\Omega$$

La ganancia del filtro se ajustó con las resistencias R_3 y R_4 , debido a que la configuración es no inversora se tiene la siguiente expresión:

$$Ganancia = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$

En este caso se tiene una ganancia unitaria por lo tanto no es necesario utilizar estas dos resistencias.

Para el diseño del filtro pasa bajo de igual manera se implementó la configuración Sallen-Key la diferencia con respecto al filtro pasa alto es que las resistencias R_1 y R_2 pasan a ubicarse en la posición de los capacitores y estos se ubican donde se encontraban las resistencias.

En este caso la frecuencia de la última señal de identificación es de 8800 por lo tanto se ajustó la frecuencia de corte del filtro pasa bajos en 12000 Hz. Al igual que para el filtro pasa alto se inició seleccionando los capacitores del circuito.

$$C_2 = 4.7nF$$

$$C_1 = 2 * C_2 = 9.4 nF \approx 10 nF$$

Siiguiente se calculó el valor de las resistencias para esta configuración $R_1=R_2$.

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 \sqrt{C_1 C_2}}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{1}{2\pi f_c \sqrt{C_1 C_2}} = 1.934,6\Omega \approx 2000\Omega \text{ comerciales } 1800 \Omega \text{ o } 2,2 k\Omega$$

La ganancia del filtro se ajustó con las resistencias R_3 y R_4 , debido a que la configuración es no inversora se tiene la siguiente expresan.

$$Ganancia = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$

De igual manera que la etapa anterior se trabajó con una ganancia unitaria, ya teniendo diseñados ambos filtros por separado se deben posicionar en cascada para de esta manera conformar el filtro pasa bandas. Para verificar si el diseño del filtro es correcto se simuló su comportamiento en el dominio de la frecuencia utilizando la herramienta computacional Matlab.

La función de transferencia para cada uno de los filtros por separado se muestra a continuación.

Filtro pasa bajo de segundo orden

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{\frac{1}{R^2 C_1 C_2}}{s^2 + \frac{2}{RC_2}s + \frac{1}{R^2 C_1 C_2}} = \frac{5.68 * 10^9}{s^2 + 2.19 * 10^5 * s + 5.68 * 10^9}$$

Filtro pasa alto de segundo orden

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{2}{CR_1}s + \frac{1}{C^2 R_1 R_2}} = \frac{s^2}{s^2 + 1.77 * 10^4 * s + 1.57 * 10^8}$$

Se debe multiplicar las dos funciones de para obtener la función de transferencia del filtro pasa banda.

Filtro pasa banda

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{5.68 * 10^9 * s^2}{s^4 + 2.37 * 10^5 * s^3 + 9.74 * 10^9 * s^2 + 1.354 * 10^{14} * s + 8.93 * 10^{17}}$$

Con esta función y el comando “bode” de Matlab se obtuvo la siguiente respuesta en el dominio de la frecuencia.

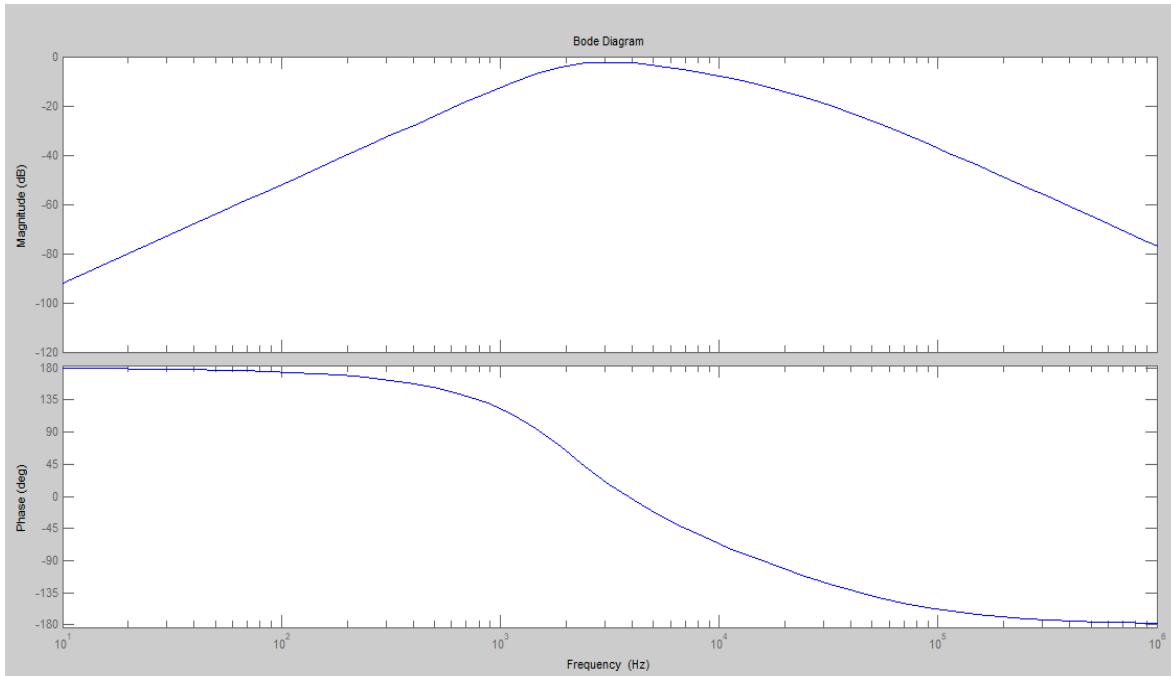


Ilustración 32. Respuesta en el dominio de la frecuencia- Filtro pasa banda- Receptor

Del diagrama de bode se obtuvieron los siguientes resultados que permiten validar el diseño:

Magnitud 0 dB → Frecuencia = [2400 Hz; 4200Hz]

Magnitud - 10 dB → Frecuencia = [1140 Hz; 13000 Hz]

Magnitud - 20 dB → Frecuencia = [638 Hz; 32200 Hz]

Magnitud - 30 dB → Frecuencia = [355 Hz; 63600Hz]

Magnitud - 40 dB → Frecuencia = [195Hz; 120000 Hz]

Ya que el rango de interés de frecuencias para el sistema es de [3200 Hz; 8800 Hz] y estas frecuencias se encuentran dentro de la banda del filtro entre 0 dB y -10 dB se espera que las señales de identificación no sean afectadas de manera considerable. Dado esto se considera que el diseño es correcto.

Utilizando el software Proteus se simuló el funcionamiento del filtro y se observó el impacto que tiene éste sobre la señal de identificación. La ilustración 33 muestra el esquema implementado para realizar esta simulación.

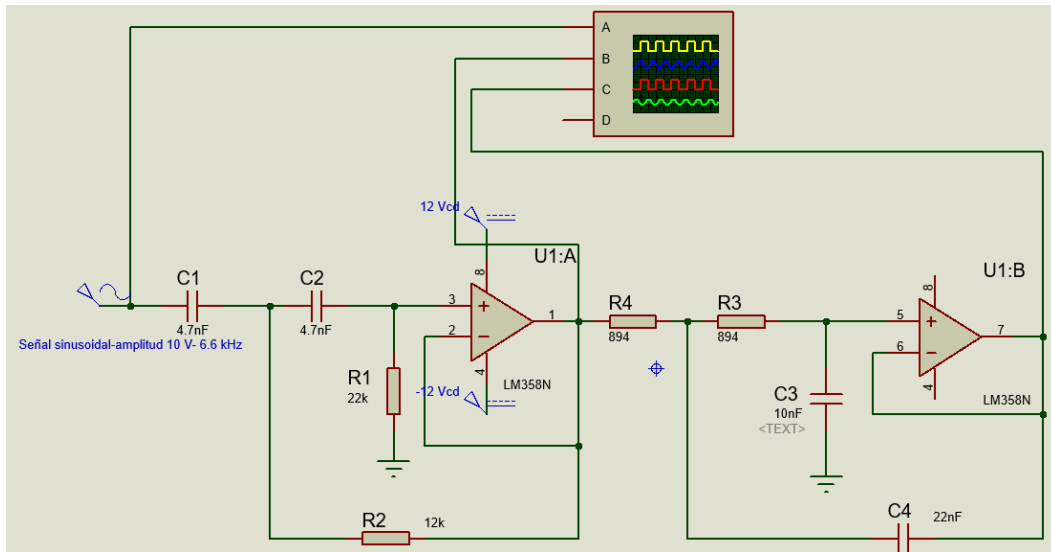


Ilustración 33. Esquema de simulación del filtro pasa banda en el software Proteus

Si la señal transmitida es bipolar se tiene un pequeño circuito sujetador el cual toma la señal de ± 6 V que llega al receptor y entrega una señal de 0 a 12 V. Se observa en la simulación que el voltaje a la salida del circuito sujetador varía entre -0.5 y 11.5 V. En el caso de que la señal transmitida no sea bipolar no es necesario implementar este circuito.

Para la prueba se introdujo al filtro una señal de 6kHz y utilizando el osciloscopio se observó la forma de onda de la señal a la entrada del filtro pasa banda, a la salida del filtro pasa alto y a la salida del filtro pasa banda.

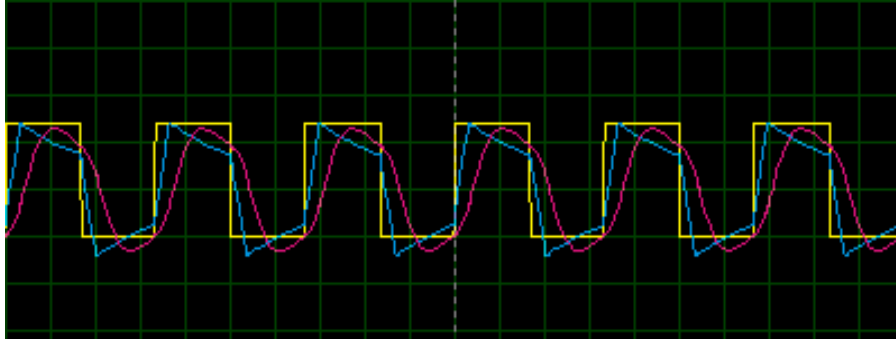


Ilustración 34. Formas de onda para una señal de 6kHz a la entrada del filtro pasa banda (Amarilla) a la salida del filtro pasa alto (Azul) y a la salida del filtro pasa banda (Roja)

Se observó que la onda se modifica un poco en forma y magnitud, la frecuencia de la onda a la salida del filtro no sufre cambios. Se espera que una vez esta señal entre al comparador ubicado después del filtro recupere su forma original para proceder a ser identificada.

3.4.7 Fuentes de alimentación

Para alimentar los elementos dentro del sistema se tuvo que seleccionar una fuente de alimentación adecuada. Por lo tanto, se enumeraron los niveles de tensión requeridos:

Tarjetas Tiva C: 4.75 V a 5.25 V

Multiplexor (CD4051): + 3.3 V

Amplificador operacional (LM324): + 12 V de alimentación y + 1.7 V voltaje de referencia.

Amplificador operacional (LM358N): + 6V de alimentación

Comparador (LM311): + 3.3 V y Vref (Se ajusta de acuerdo a la salida del filtro)

Para seleccionar la alimentación del sistema se plantearon alternativas para el transmisor y el receptor por separado, las cuales se presentan a continuación.

- Para la alimentación de los elementos del dispositivo **transmisor** se tiene como primera alternativa el uso de una batería recargable de 5 en conjunto con un conversor DC/DC para elevar el nivel de tensión a +12 V; con esta tensión se alimenta los amplificadores **LM324**. Con la batería de 5V se alimenta la tarjeta **Tiva C** y utilizando un divisor de tensión se obtiene los

1,7 V de voltaje referencia que necesitan los amplificadores **LM324**. Por último, con el puerto de 3.3 V de la tarjeta Tiva C se alimenta el multiplexor **CD4051**.

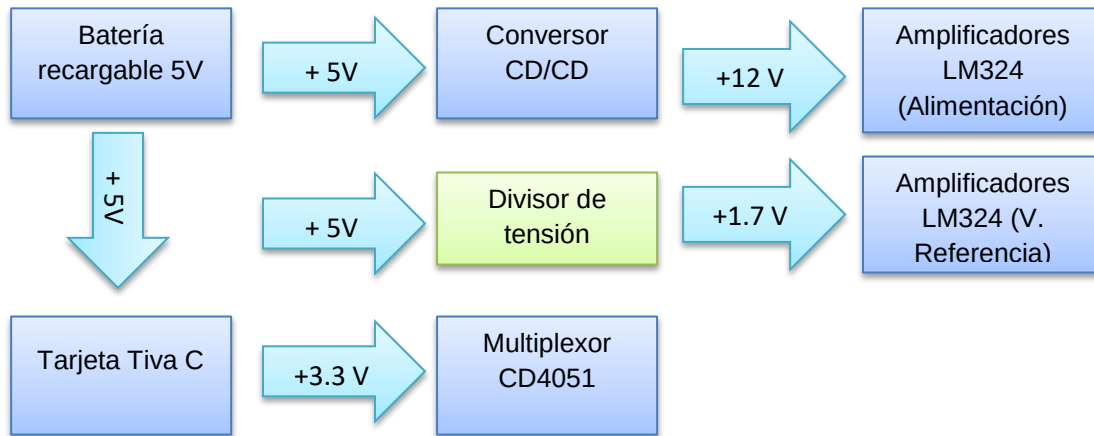


Ilustración 35. Diagrama de bloques de la alternativa 1 para la alimentación del dispositivo transmisor

- La segunda alternativa consiste en utilizar una batería de 12 V en conjunto con un regulador de tensión de 5 V. Desde la batería de 12 V se alimenta los amplificadores **LM324** y al igual que la alternativa 1 se utiliza un divisor de tensión para obtener los 1,7 V de referencia que necesita el integrado **LM324**. Los 5 V entregados por el regulador de tensión se utilizan para alimentar la tarjeta **Tiva C** y con el puerto de 3.3 V el multiplexor **CD4051**.

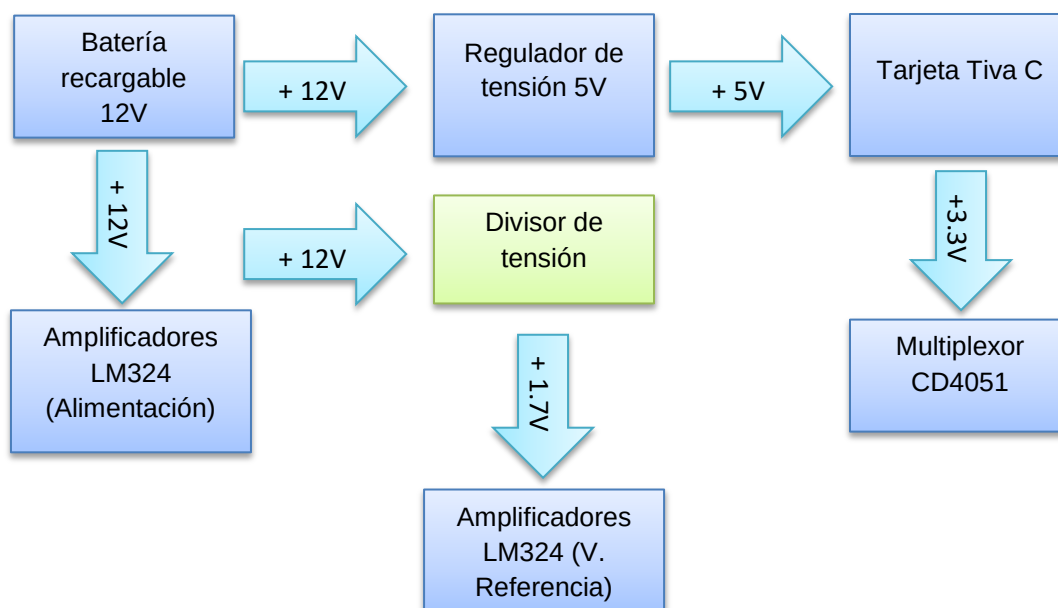


Ilustración 36. Diagrama de bloques de la alternativa 2 para la alimentación del dispositivo transmisor

- Para la alimentación de los elementos del dispositivo **receptor** se utilizaría una alimentación similar a la alternativa 1 para el dispositivo transmisor. Se utilizaría una batería recargable de 5V la cual se utilizaría en conjunto con un arreglo de conversores DC/DC para elevar el nivel de tensión a $\pm 12V$ para alimentar al amplificador **LM358** que corresponde al filtro pasa banda. Con la batería de 5V se alimentaría la tarjeta **Tiva C** y el integrado **LM358** destinado como circuito seguidor y comparador. Para finalizar el voltaje de referencia del comparador se obtendrá de un divisor de tensión utilizando la batería de 5V.

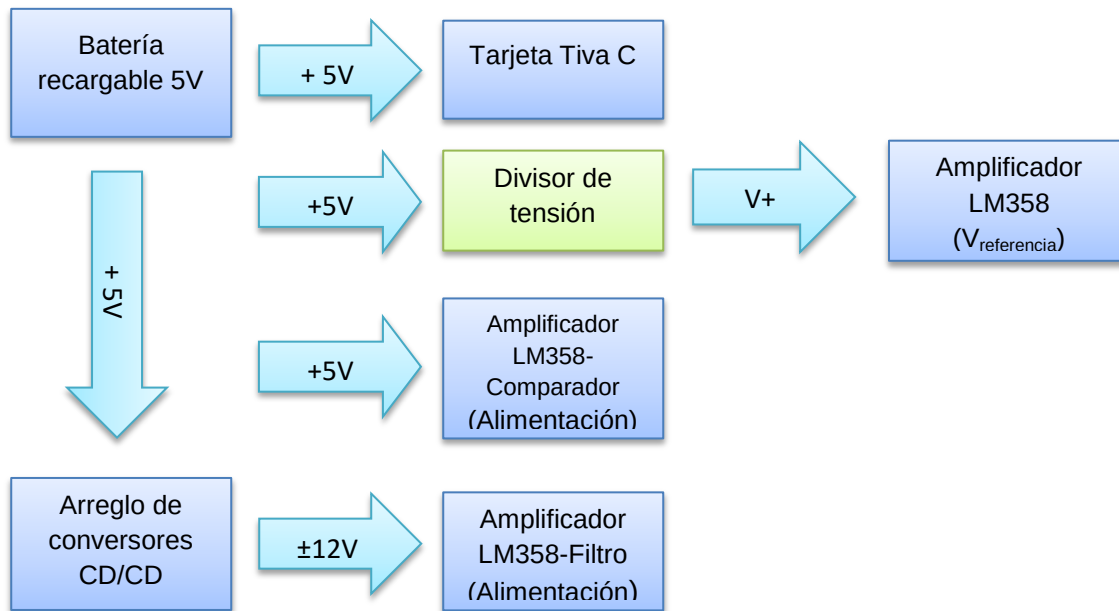


Ilustración 37. Diagrama de bloques para la alimentación del dispositivo receptor

Se analizaron unas alternativas en el mercado para el convertor DC/DC y para el regulador de tensión. Se tomó la decisión de trabajar con el convertidor DC/DC XL6009 Buck Boost y el módulo LM2596 Buck. Se seleccionaron estas dos alternativas debido a que su funcionamiento cumple perfectamente con lo que necesita el sistema, su compacto tamaño y a su bajo costo de adquisición.

El convertidor DC/DC **XL6009 Buck Boost** toma cualquier voltaje entre 5 y 32 V y lo convierte en cualquier voltaje entre 1.25 y 35 V. Este módulo se caracteriza por trabajar a muy altos rangos de frecuencia. La frecuencia de operación es de 400KHz, y proporciona un nivel de potencia máximo de 30W a su salida. La tabla 15 muestra algunas de las características técnicas de este dispositivo. [25]

Tabla 15. Características técnicas del dispositivo XL6009 Buck Boost tomado de [25]

Parámetro	XL6009 Buck Boost
Rectificación	no sincrónica
Rango de entrada	3.8V ~ 32V
Rango de salida	1.25V ~ 35V
Corriente de entrada	3A, Sin carga 18mA
Eficiencia de conversión	< 94%
Frecuencia de conmutación	400KHz
Temperatura de funcionamiento	-40 °C ~ +85 °C
Dimensiones	48mm * 25mm * 14mm
Regulación de carga y de voltaje	± 0,5%

El módulo **LM2596 Buck** permite tener un voltaje regulado a partir de una fuente de alimentación con un voltaje mayor, presenta un bajo voltaje de rizado, una buena regulación de línea y un voltaje de salida ajustable. La tabla 16 muestra algunas de las características técnicas de este dispositivo. [26]

Tabla 16. Características técnicas del dispositivo LM2596 Buck tomado de [26]

Parámetro	LM2596 Buck
Rango de entrada	4.5-40V
Rango de salida	1.5-35V (Ajustable)
Corriente de entrada	Máxima 3A
Frecuencia de conmutación	150 KHz
Dimensiones	43*20*14mm

3.4.7 Conectores

De acuerdo con el tipo de cable de acometida con el cual se esté trabajando se recomienda utilizar un determinado tipo de conector para conectar las salidas del dispositivo a la caja de derivación de las acometidas. A continuación, se enumeran algunos de los casos a encontrar en una acometida de baja tensión.

1)**Red abierta con conductor desnudo**: Para la derivación de acometidas de redes eléctricas abiertas con conductores de fase y neutro desnudo, de acuerdo a la Norma de medición de acometida de EPSA del año 2012, se recomienda utilizar un conector de compresión tipo ponchado, y para las acometidas individuales con conectores tipo cuña. [4]



Ilustración 38. Conector tipo cuña (WACP) tomado de planos anexos NMA3-01 EPSA tomado de [27]

2) **Red abierta con conductores aislados:** Para la derivación de acometida con conductor de fase aislados y conductor de neutro desnudo de acuerdo a la Norma de medición de acometida de EPSA del año 2012 se recomienda utilizar conectores de perforación tipo tornillo, el conductor de neutro se conecta con conectores de compresión tipo ponchado y para las acometidas individuales se utilizan conectores tipo cuña. [4]

3) **Redes trenzadas:** En estas redes las acometidas se derivan directamente de la red trenzada a través de cajas de derivación de acometidas, tendiéndolas y tensionándolas al poste más cercano al cliente y el ducto de acometida mediante grapas tensoras de acometida. [4]

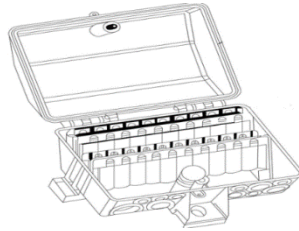


Ilustración 39. Caja de derivación para acometidas de baja tensión tomada de [28]

3.5 DESCRIPCIÓN DEL SOTWARE DEL SISTEMA

A continuación, se presenta los códigos implementados en el sistema electrónico. A pesar de que la plataforma de trabajo no es el Arduino, los códigos tienen una estructura similar a los que se manejan en este.

3.5.1 Algoritmos para la transmisión de señal

De acuerdo con lo dicho en la sección 3.3.4 se tienen dos alternativas de transmisión. Para cada una de ellas se trabajó con comandos distintos, por lo tanto la complejidad y funcionalidad varía.

3.5.1.1 Algoritmo de transmisión- Acometida ligada a una señal de frecuencia establecida

Para generar los tonos para cada una de las acometidas se utilizó el comando TONE (), con el cual se genera una onda cuadrada a una frecuencia especificada con un ciclo de trabajo del 50%. Con este comando solamente es posible generar un tono a la vez. Una vez ya se esté generando el tono en un determinado pin, no

es posible hacerlo en otro. Sin embargo, al activar nuevamente el comando se puede modificar la frecuencia.

La sintaxis para este comando es la siguiente:

Tone (Pin, Frecuencia, Duración)

Primero se identificaron las variables de interés, entre éstas, las 8 acometidas, inicio, parada y señal de salida. Se identificó era necesario utilizar variables tipo booleanas para setear el estado de la señal en el caso de que se utilice botones para “Start” y “Stop”.

Para programar la tarjeta Tiva C se utilizó un lenguaje similar al que se utiliza en la plataforma Arduino. Fue necesario ligar cada una de las variables de salida a un pin de la tarjeta y declarar el tipo de pin con que se va a trabajar. Enseguida se debió leer el estado de cada uno de esos pines y almacenarlo en las variables booleanas que se identificaron; para esto se cuenta con el comando “digitalRead”.

Para que el transmisor empiece a funcionar es necesario oprimir el botón de inicio o “Start”. Además, se debe asegurar que el botón de parada o “Stop” no se encuentre activado. La ilustración 40 muestra el algoritmo implementado para la activación del dispositivo transmisor utilizando el botón de inicio.

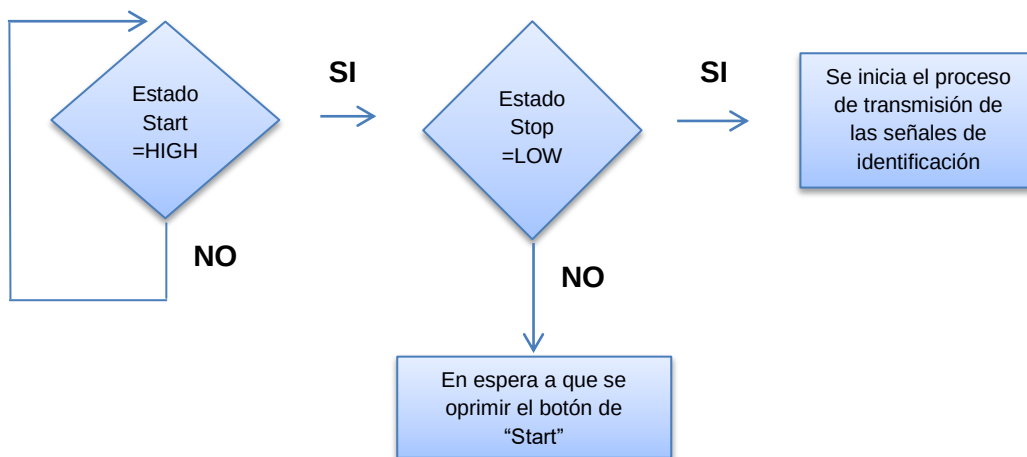


Ilustración 40. Algoritmo implementado para la activación del dispositivo transmisor

Se tiene un botón de Stop para cancelar la transmisión de la señal. Una vez se oprima se desactivan todas las etapas ligadas a las señales de identificación ligadas a las acometidas y se espera a que nuevamente se oprime el botón de inicio.

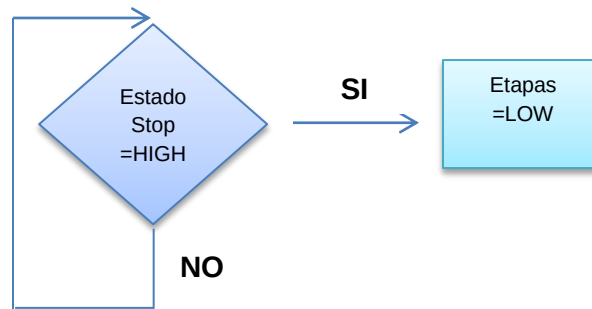


Ilustración 41. Algoritmo implementado para la parada del proceso de transmisión

Desde la tarjeta Tiva se envían las señales de control al multiplexor CD4051 y se ajustaron de tal manera que las señales ligadas a las 8 acometidas se envíen de manera simultánea, para cada señal se transmite un numero X de pulsos. Esto se realizó dividiendo el proceso de transmisión en etapas: a cada señal de identificación le corresponde una etapa, una vez se envíe esa señal se avanza a la siguiente etapa. Para poder comprender con mayor facilidad éste proceso la ilustración 42 muestra el algoritmo implementado.

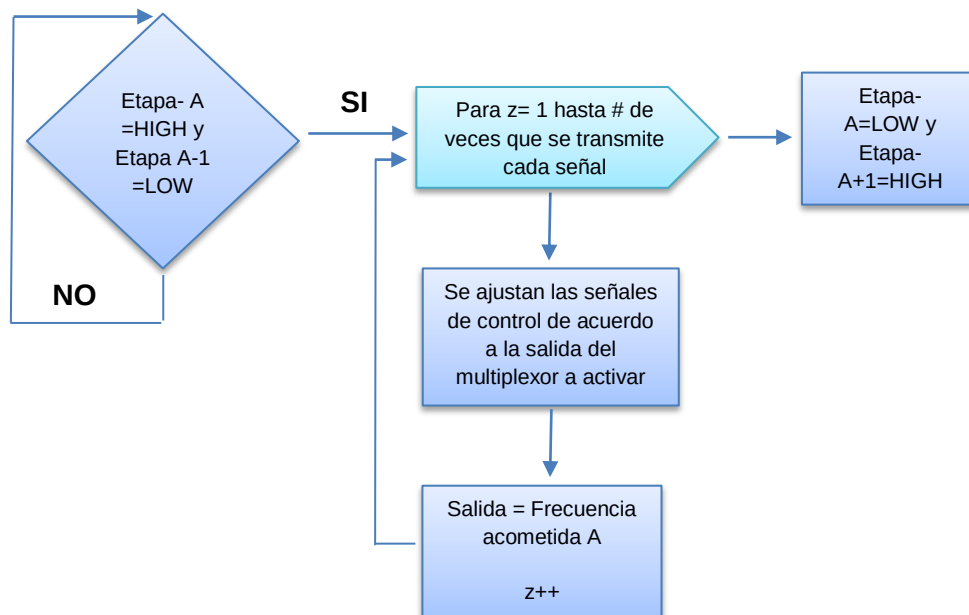


Ilustración 42. Algoritmo implementado para la transmisión en cadena de las señales de identificación

Es necesario mencionar que además en cada una de las etapas se activan las señales ligadas al display 7 segmentos del transmisor, indicando de esta manera cual es la señal que se está transmitiendo en el momento.

3.5.1.2 Algoritmo de transmisión- Acometida ligada a un código binario similar a la transmisión UART

“La UART es un circuito que envía datos paralelos en forma serial. Se denomina universal debido a que el formato de los datos y la velocidad de transmisión son configurables y que los niveles de señalización eléctricos y métodos son manejados por un circuito externo a la UART.” [29]

“Incluye un transmisor y un receptor; el primero es básicamente un registro de desplazamiento con carga paralelo y salida serie, mientras que el segundo carga valores en serie para luego agruparlos en un dato.” [29]

El formato de datos que se maneja tiene la siguiente estructura:

1. Si no se están enviando datos se mantiene en “1” la transmisión, esto se conoce como la línea de reposo.
2. Siempre se inicia el proceso de transmisión enviando un bit “0”.
3. Se envía el dato bit a bit comenzando con el menos significativo.
4. Después del último bit transmitido es decir el más significativo se envía un bit de paridad, este bit es opcional.
5. Se finaliza con uno o dos bits en “1” que serían los bits de parada.

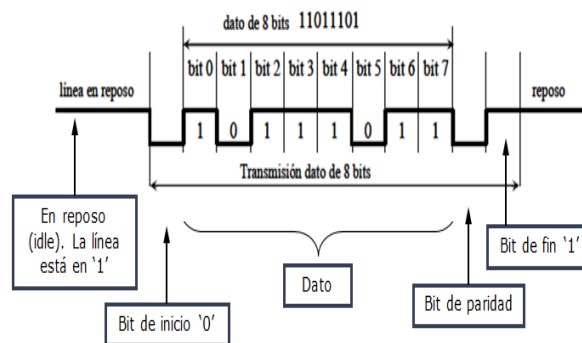


Ilustración 43. Formato de datos transmisión UART tomado de [29]

Al igual que el algoritmo presentado en la sección 3.4.1.1, se inició identificando las variables con las que se va a trabajar. En este caso a cada acometida se le ha asignado un código de 8 bits. Se tiene una variable de inicio o “Start”, una variable de parada o “Stop”. Al igual que se explicó en la sección anterior fue necesario ligar cada una de las variables de salida a un pin de la tarjeta y declarar el tipo de

pin con que se va a trabajar. Se lee el estado de esos pines para almacenarlo en las variables tipo booleanas. Se manejó el mismo algoritmo para el inicio y parada de la transmisión.

Para transmitir la señal además de que se trabaja con UART se utilizó la modulación FSK: para los bits “1” se tiene una señal a una frecuencia establecida y para los bits “0” se modifica la frecuencia de esta señal. El número de periodos de esta señal para cada bit se ajustaría después de realizar pruebas de sincronización entre el dispositivo receptor y transmisor.

Ya que los códigos para cada acometida se envían en cadena, nuevamente se seccionó la transmisión en etapas, para avanzar de una etapa a otra es necesario transmitir por completo el código ligado a una acometida. Para la transmisión del código se empleó un ciclo “For” con el cual se recorre cada una de los 8 bits variando la frecuencia de la señal de salida. La ilustración 44 muestra un esquema del algoritmo para poder comprenderlo con mayor facilidad.

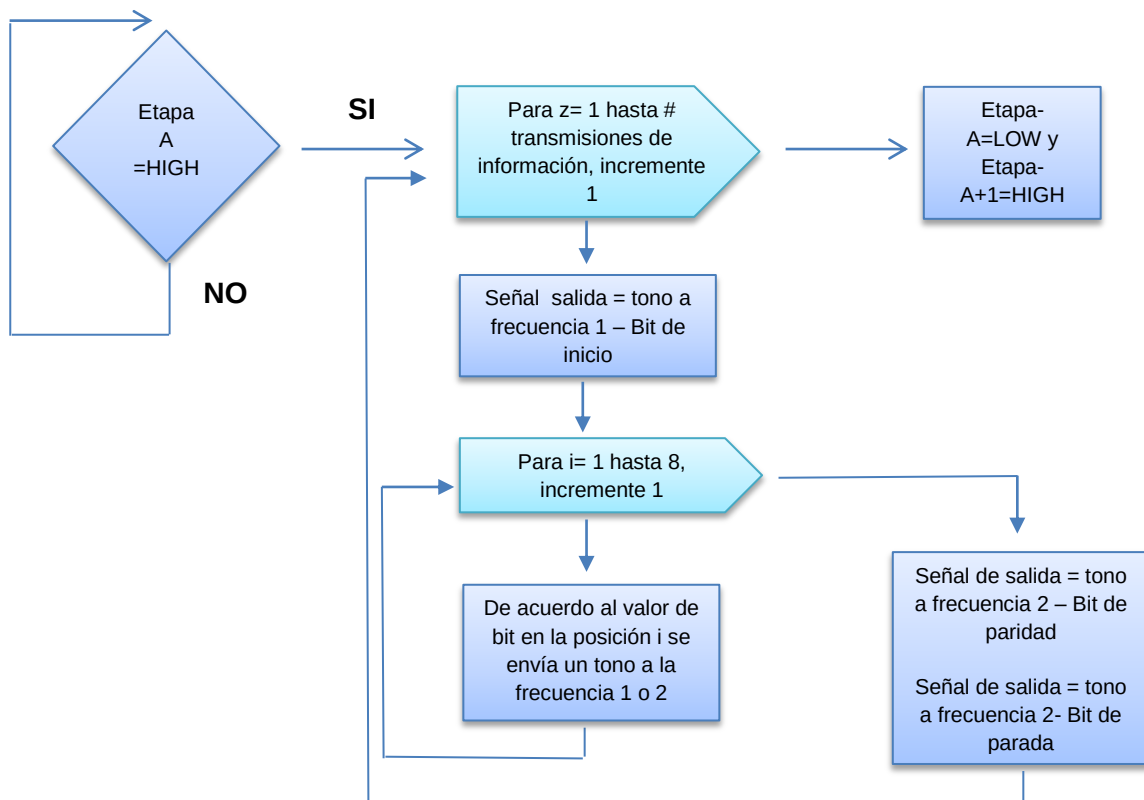


Ilustración 44. Algoritmo para la transmisión en cadena de los códigos de 8 Bits de cada acometida

3.5.2 Algoritmos para la recepción de señal

Ya que se tienen dos alternativas para la transmisión de la información se manejó una alternativa de recepción para cada una de ellas. A continuación, se muestran los códigos de recepción e identificación de la señal transmitida.

3.5.2.1 Algoritmo de recepción- Acometida ligada a una señal de frecuencia establecida

Para realizar la identificación de la acometida se debe conocer la frecuencia de la señal transmitida. Este valor se puede obtener al medir el tiempo que tarda la señal en realizar un ciclo de onda: este tiempo corresponde al periodo de la onda, el inverso del periodo es la frecuencia. El comando `pulseIn()` toma el tiempo que tarda la onda en ir ya sea de estado HIGH a LOW o de LOW a HIGH. Tenido los tiempos de ciclo de onda se calculó el periodo. La frecuencia de la onda se obtuvo del inverso del periodo.

Se identificó variables de trabajo las cuales son 4, una que está relacionada al pin de la señal a medir, dos para guardar el valor de los tiempos del semiciclo positivo y negativo entregado por el comando `PulseIn` y la última para limitar el número de mediciones de frecuencia. Al igual que en los algoritmos de transmisión se declararon los pines con los que se va a trabajar. Utilizando un condicional “if” se ajustó el número de mediciones a realizar con la variable X.

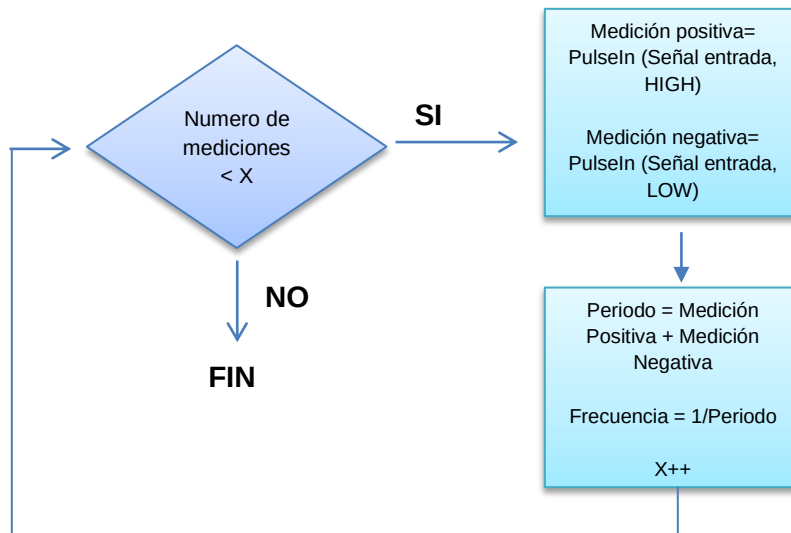


Ilustración 45. Algoritmo para la recepción de la cadena de señales de identificación

Con el valor de frecuencia y utilizando una serie de condicionales “if” se enviaron las señales al display 7 segmentos.

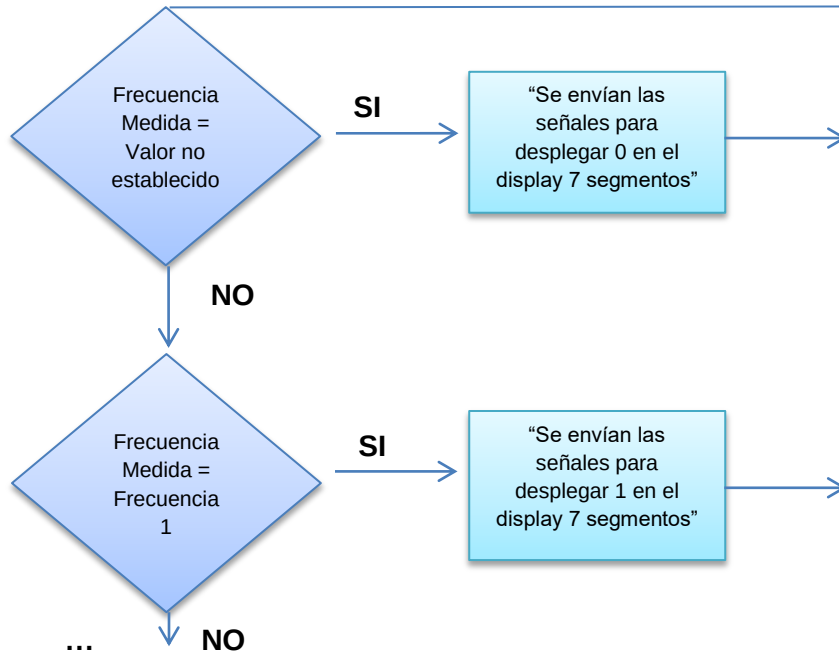


Ilustración 46. Algoritmo para la activación del display 7 segmentos utilizando la frecuencia medida

3.5.2.2 Algoritmo de recepción- Acometida ligada a un código binario similar a la transmisión UART

Al igual que en el algoritmo presentado en la sección 3.5.2.1, se debe conocer la frecuencia de la señal transmitida, para lo cual se utilizó el comando `PulseIn` como se explicó anteriormente. Con los valores de frecuencia adquiridos se calculó el promedio de un determinado número de mediciones y de acuerdo al valor se almacenó un "0" o un "1" en la variable destinada para el código recibido.

Al igual que en los algoritmos de transmisión se declararon los pines con los que se trabajó. Se declaró una variable tipo array llamada "Frecuencias recibidas" la cual tiene una capacidad de almacenar 7 valores de frecuencia. Con estos 7 valores se calculó el promedio, el cual se almacenó en la variable promedio de frecuencias. Con este promedio y utilizando un condicional "if" se comparó el valor obtenido con unos ya preestablecidos para saber si corresponde a un "0" o "1" lógico.

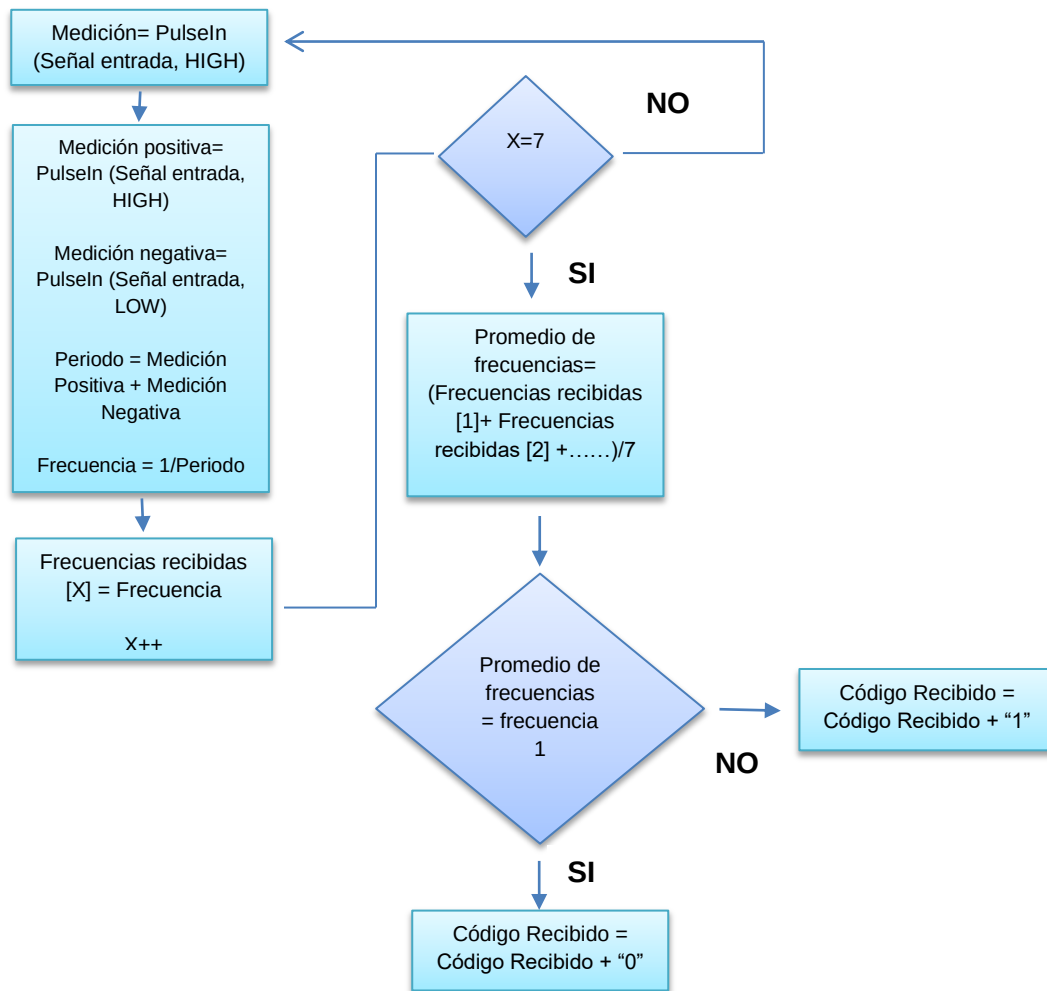


Ilustración 47. Algoritmo para la recepción- de cadena de los códigos de 8 Bits de cada acometida

Para saber el momento en que se ha completado el código recibido se cuenta con una variable que incremente en 1 cada vez que un bit sea almacenado hasta alcanzar un determinado valor. Teniendo el código completo y utilizando una serie de condicionales "if" se envió las señales al display de 7 segmentos. El valor enviado al display 7 segmentos se selecciona comparando el código obtenido con unos ya preestablecidos.

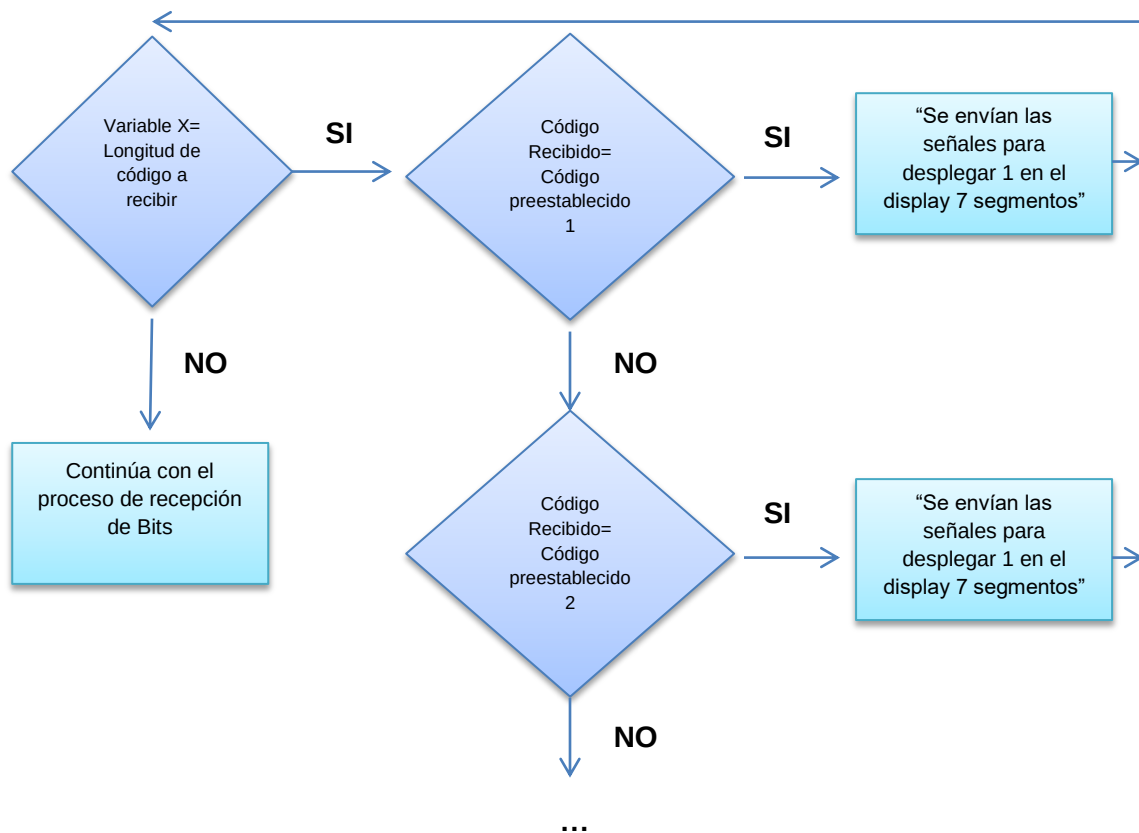


Ilustración 48. Algoritmo para la activación del display 7 segmentos utilizando la cadena de bits recibido

3.6 ESQUEMATICO Y DISEÑO DEL SISTEMA EN PLAQUETAS (EAGLE)

A continuación, se presentan los esquemáticos y los diseños de las plaquetas del dispositivo transmisor y receptor del sistema. En estos se encuentran debidamente identificados cada uno de los elementos con sus respectivos valores.

Se aseguró que el diseño realizado en el software Eagle no tuviese errores comunes como falta de distancia mínima entre pistas o sobreposición de pistas en una misma cara.

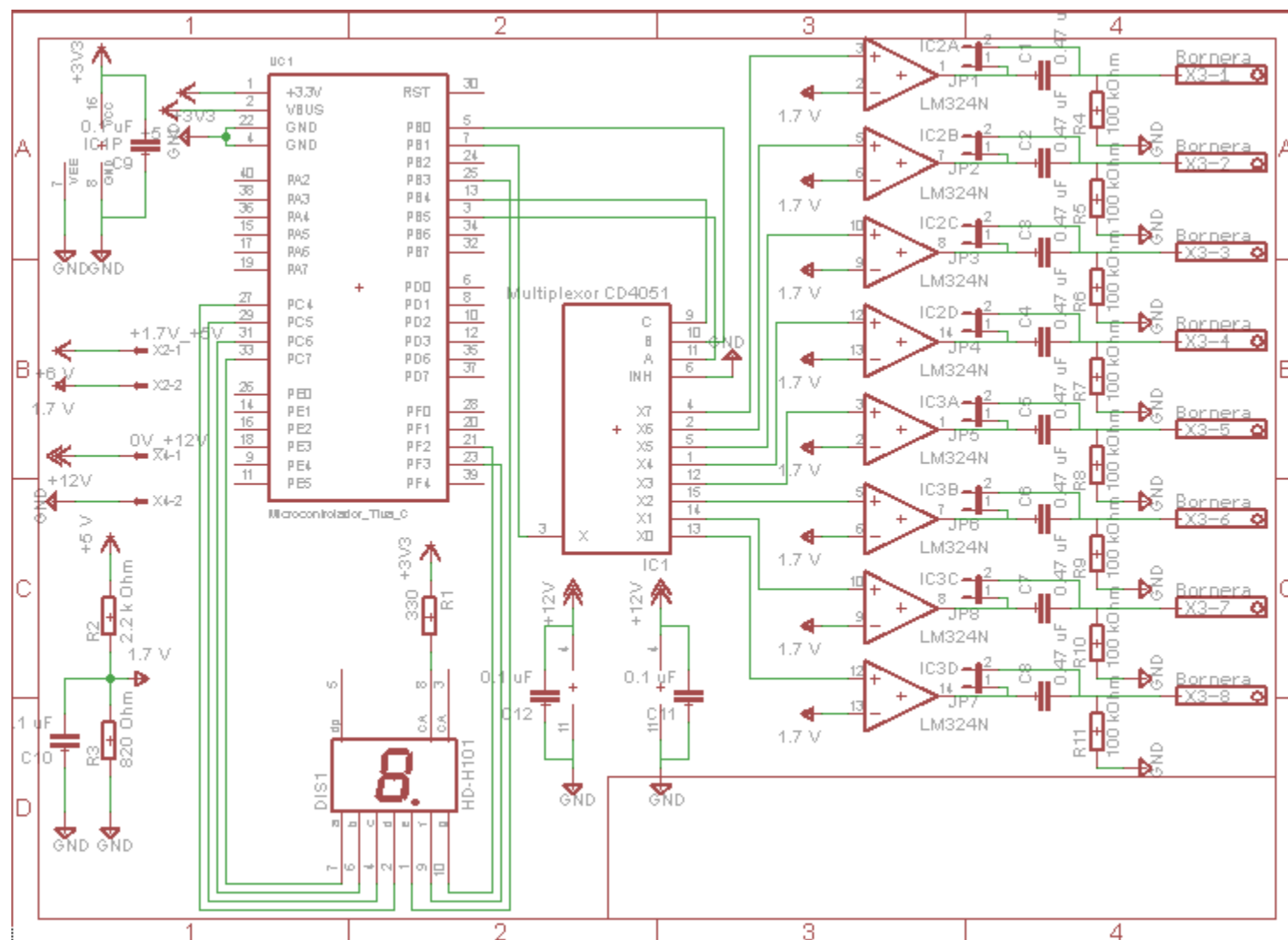


Ilustración 49. Diagrama esquemático del dispositivo transmisor del sistema (EAGLE)

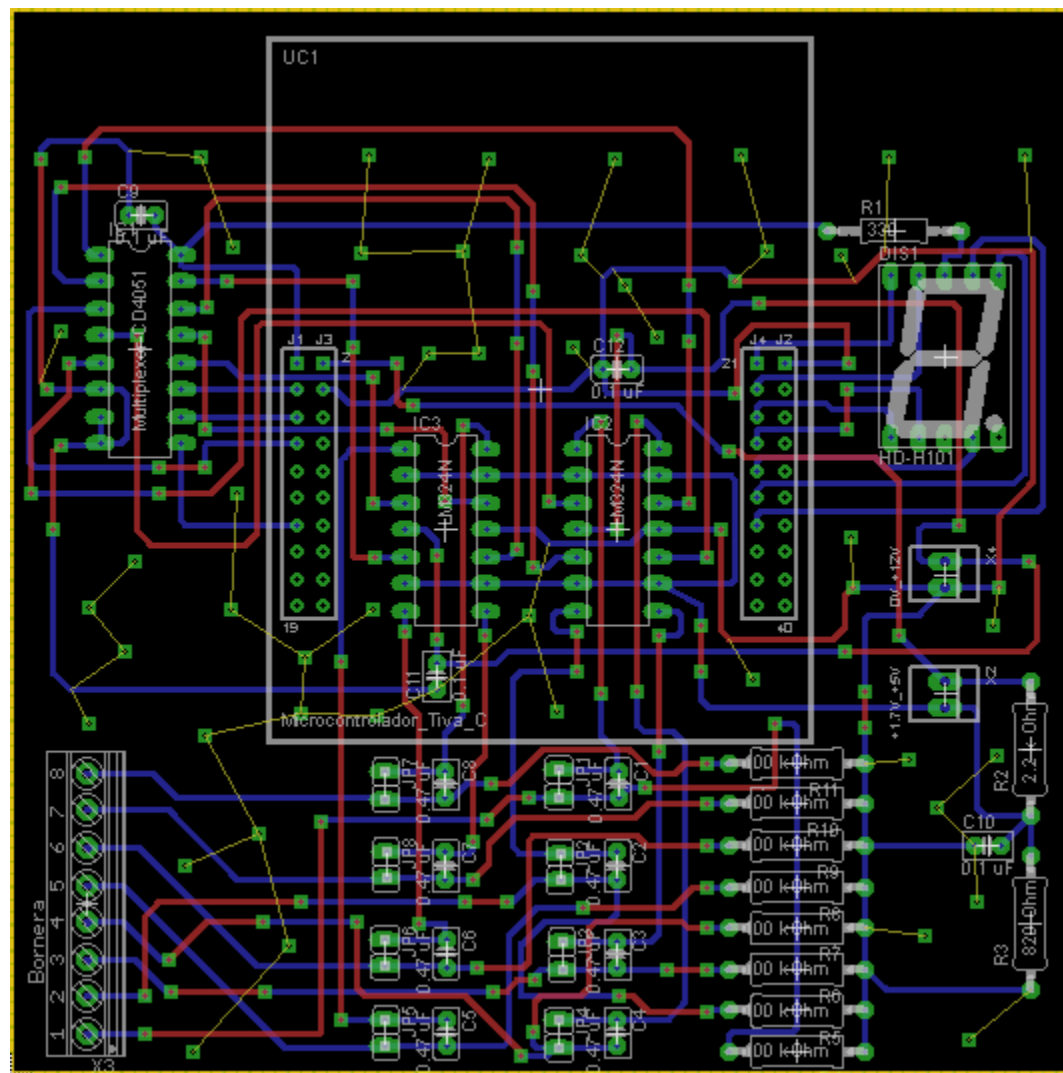


Ilustración 50. Diseño de placa del dispositivo transmisor del sistema (EAGLE)

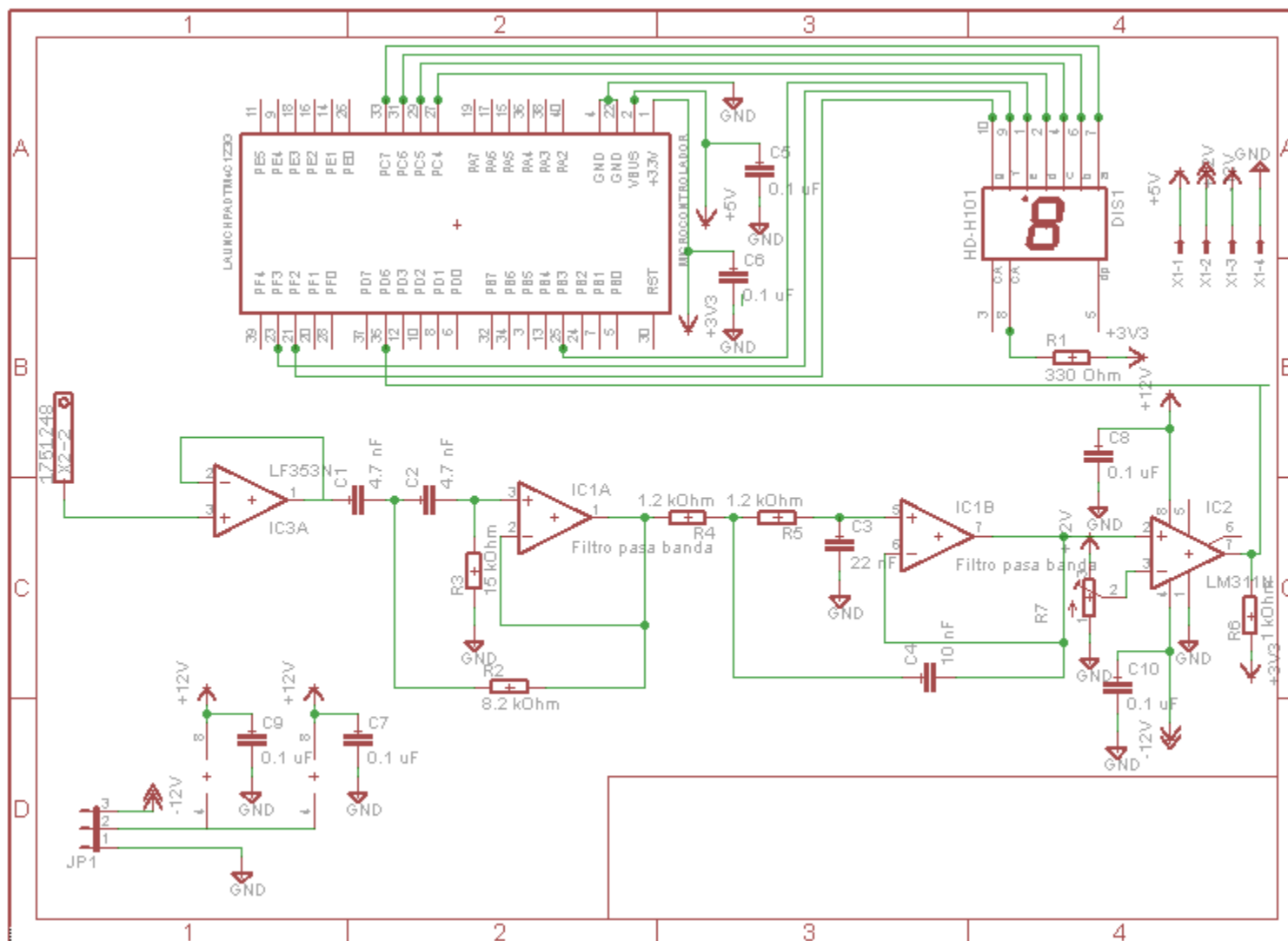


Ilustración 51. Diagrama esquemático del dispositivo receptor del sistema (EAGLE)

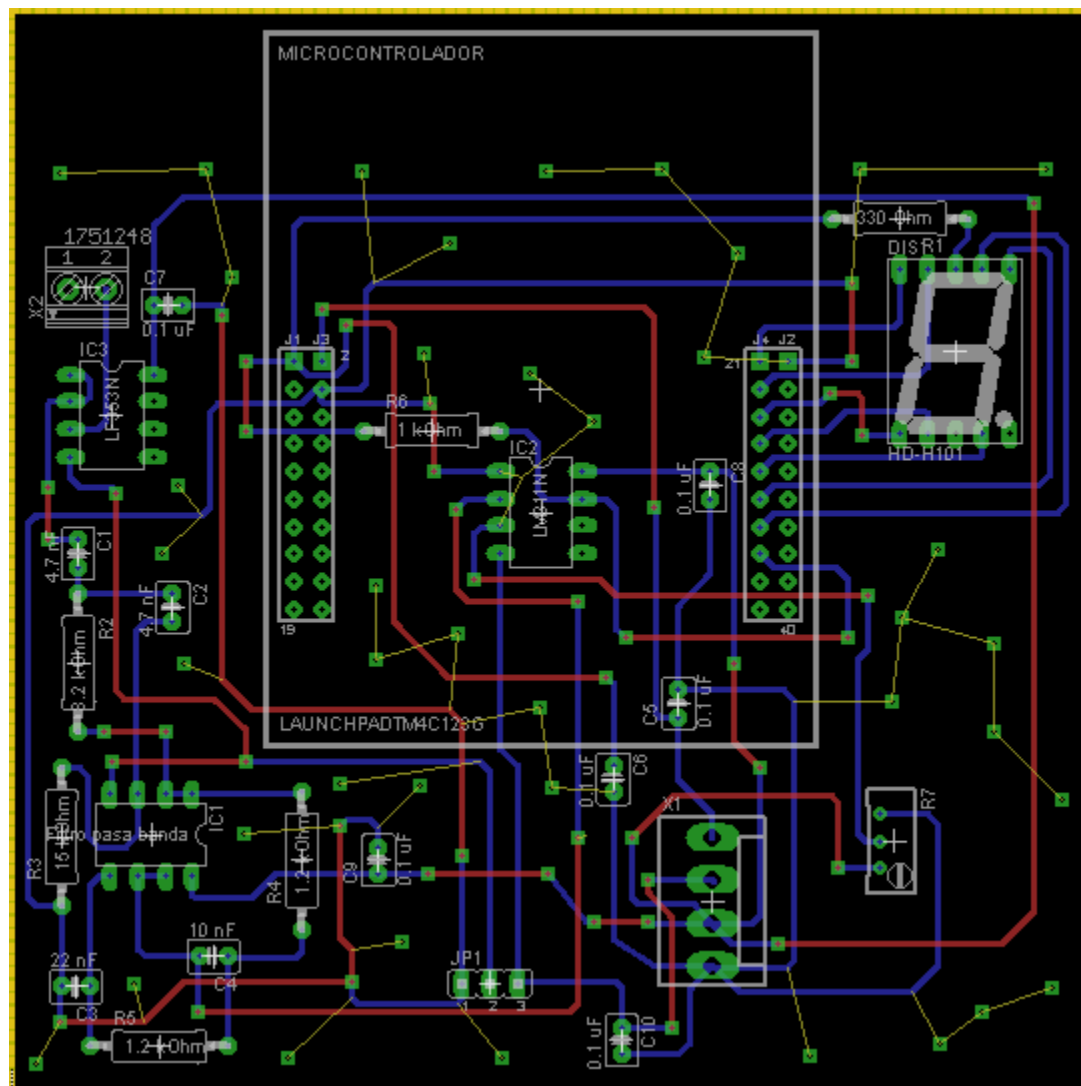


Ilustración 52. Diseño de placa del dispositivo receptor del sistema (EAGLE)

3.7 CONCLUSIONES

Una vez presentado el diseño a realizar en el presente trabajo y analizando las alternativas que se tienen para cada uno de los elementos dentro del sistema, se tomaron las siguientes decisiones.

Con respecto a la transmisión de la señal de identificación se trabajó con la tarjeta Tiva C implementando los códigos presentados en la sección 3.5, se decidió dejar a un lado la alternativa de trabajo con la familia de integrados XR ya que los montajes a realizar son complejos al igual que asegurar su correcto funcionamiento.

Para la adecuación de la señal se decidió trabajar con amplificadores operacionales y comparadores a pesar de que la alternativa del lazo de corriente fuese mejor. Esta decisión se tomó debido a la simplicidad y economía del montaje seleccionado. Como trabajo futuro se propone migrar a una alternativa de lazo de corriente.

Analizando las opciones presentadas para la alimentación del dispositivo transmisor y receptor se consideró válida cualquiera de ellos. Sin embargo, la selección definitiva se realizó teniendo en cuenta las variables, costos y tamaño de la alimentación.

Las dos alternativas de algoritmos presentadas con anterioridad son válidas. Sin embargo, debido a que se tuvo problemas de sincronización en la recepción del código de identificación al implementar el algoritmo de la sección 3.5.2.2 se tomó la decisión de trabajar con las acometidas ligadas a una señal de frecuencia establecida.

CAPITULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Debido a que no es posible realizar la prueba de validación del sistema en un transformador ubicado en una zona residencial dada la complejidad que esto trae, se tomó la decisión de utilizar el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad del Valle que cuenta con un transformador propio y emula de manera cercana a la realidad, un sistema de distribución con varios usuarios conectados.

Se diseñó un protocolo de pruebas que permitió adquirir información de interés para la validación del dispositivo. En primera instancia se realizó una prueba para validar el algoritmo implementado. Siguiendo se verificó el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos que componen al sistema, y para finalizar se estudió el comportamiento de las “señales de identificación” al ser transmitidas a lo largo de un conductor a diferentes distancias.

Al finalizar las pruebas se observó los posibles problemas que pueden ocurrir al implementar el dispositivo. Se plantearon alternativas para solucionarlos y se concluyó de acuerdo con todo lo realizado anteriormente.

4.1 PRUEBA PARA LA VALIDACIÓN DE LOS ALGORITMOS IMPLEMENTADOS

Se realizó una prueba a corta distancia con la finalidad de comprobar el correcto funcionamiento del algoritmo de identificación seleccionado en el capítulo 3 de este trabajo, verificar que el multiplexado de las señales de identificación fuese correcto y que el valor mostrado por el indicador fuese acorde a la señal enviada.

El protocolo de prueba consistió en transmitir en cadena las 8 señales de identificación, verificando que el receptor estuviese recibiendo cada una de ellas sin inconvenientes y sin presentar errores de frecuencias atípicas. Para cada una de las señales de identificación se realizaron 100 mediciones, con las cuales se calculó el valor medio, máximo y mínimo medido por el receptor.

El montaje que se utilizó para realizar esta prueba se muestra en la ilustración 53.

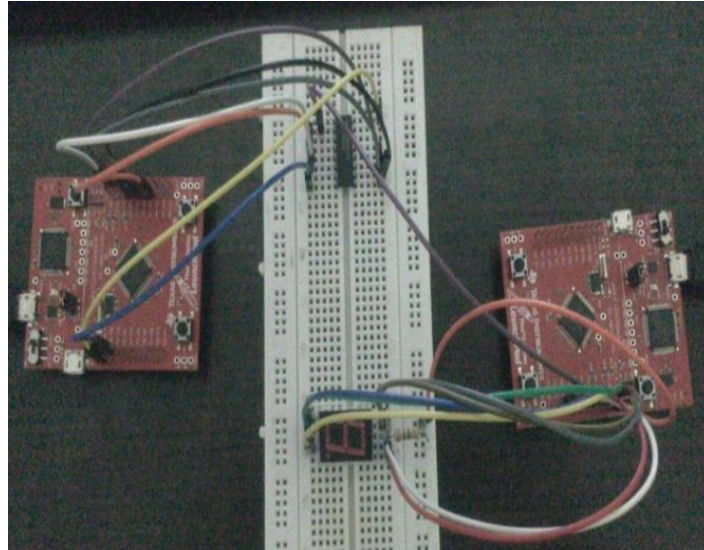


Ilustración 53. Montaje del sistema para la prueba del software a corta distancia

Utilizando el puerto serial de un ordenador se verificó que se estuviese captando la señal transmitida. En primera instancia se verificó que antes de oprimir el botón de arranque el receptor captase una señal de frecuencia a 0 Hz. De igual manera se verificó que indicara que la frecuencia medida no corresponde a ninguna señal de identificación. El led 7 segmentos entregó el valor de 0 lo cual era esperado.

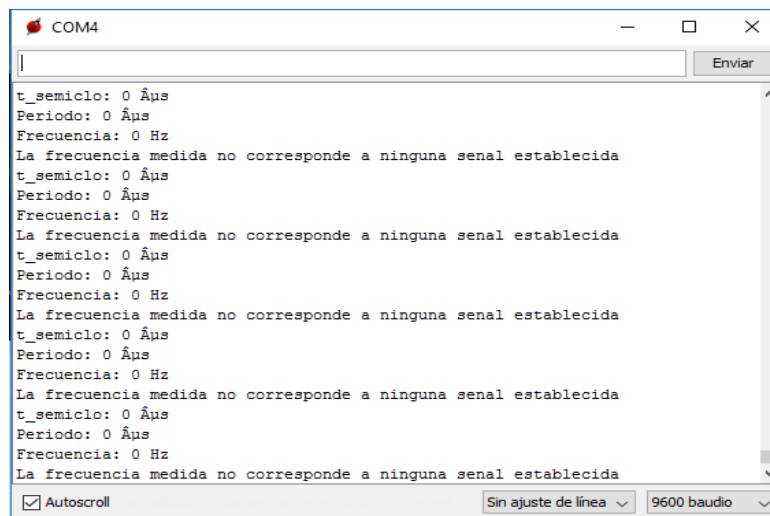


Ilustración 54. Ventana del puerto serial ligado al receptor antes de presionar el botón de arranque del dispositivo transmisor (Algoritmos 3.5.1.1 y 3.5.2.1)

Una vez oprimido el botón de inicio se verificó utilizando el puerto serial que el dispositivo transmisor enviara de manera ordenada las señales de identificación

con una pequeña pausa entre ellas. De igual manera se verificó que el dispositivo receptor estuviese en la capacidad de medir la frecuencia de estas señales e indicar a que señal de verificación corresponde..

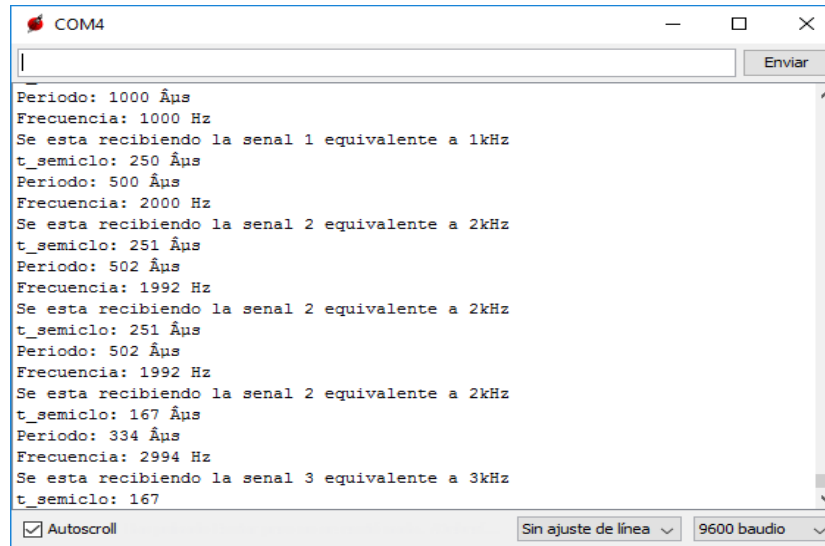


Ilustración 55. Ventana del puerto serial ligado al dispositivo receptor una vez se envían las señales de identificación (Algoritmos 3.5.1.1 y 3.5.2.1)

La tabla 17 muestra para cada una de las señales de identificación el valor promedio, máximo y mínimo recibido por el receptor. Igualmente se indicó el porcentaje de error en las mediciones para cada una de las señales de identificación. Se consideró como error la incapacidad de medir el valor de frecuencia y la aparición de valores atípicos.

Tabla 17. Resultados obtenidos de la toma de 100 mediciones para cada señal de identificación

Señal de identificación	Frecuencia [Hz]	Señal recibida			Porcentaje de error presentado (100 mediciones)
		Frec. Min [Hz]	Frec. Promedio [Hz]	Frec. Max[Hz]	
1	3200	3164	3142	3184	1
2	4000	3937	3960	3937	1
3	4800	4716	4744	4761	1
4	5600	5494	5523	5555	1
5	6400	6369	6393	6451	1
6	7200	7142	7191	7246	1
7	8000	7936	7997	8064	1
8	8800	8474	8695	8610	1

4.2 EQUIPOS UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

Para el desarrollo de la prueba de validación se utilizaron los siguientes equipos:

4.2.1 Fuente regulada GW INSTEK GPC-3030D

Se utilizaron dos fuentes reguladas: una de ellas se utilizó para alimentar los elementos del dispositivo transmisor y la otra para el dispositivo receptor. Estas fuentes cuentan con 3 salidas: 2 de estas salidas son ajustables y la tercera tiene valores fijos. Cuentan con ondulación y ruido a sus salidas prácticamente imperceptible.

Tabla 18. Características técnicas de la fuente regulada GW INSTEK GPC-3030D

Característica	GW INSTEK GPC-3030D
Potencia de salida	195 W
Tensión de salida (CH1/CH2)	0~30 V
Corriente de salida (CH1/CH2)	0~3 A
Tensión de salida (CH3)	5 V
Corriente de salida (CH3)	3 A
Funcionamiento en serie	60V/ 3 A
Funcionamiento en paralelo	30V/ 6 A
Dimensiones y peso	255 x 145x 420 mm
Regulación	<1%
Medidor	3 1/2 dígitos 0.5" LED display
Fuente de poder	AC 100V/120V/220V/240V $\pm 10\%$, 50/60Hz



Ilustración 56. Fuente regulada GW INSTEK GPC-3030D

4.2.2 Osciloscopio RIGOL DS1102E

Con la finalidad de conocer las señales de entrada y salida de cada uno de los elementos que componen al dispositivo. Se utilizó un osciloscopio RIGOL DS1102E el cual cuenta con las siguientes características:

Tabla 19. Características técnicas del osciloscopio RIGOL DS1102E

Características	RIGOL DS1102E
Ancho de banda	100 MHz
Acople de entrada	DC, AC, GND
Impedancia de entrada	1M Ω $\pm$ 2%
Capacitancia de entrada	18pF $\pm$ 3pF
Máxima tensión de entrada	400V (DC+pico de AC, 1M Ω impedancia de entrada) / 40V (DC+AC Peak)
Tiempo de delay entre canales	500 ps
Tipo de display	145mm Display de cristal líquido TFT diagonal
Color del display	64k color
Fuente de alimentación	100 ~ 240VACRMS, 45~440Hz, CAT II
Fusible	2A, T level, 250 V
Dimensiones	303 x 154 x 133 mm



Ilustración 57. Osciloscopio RIGOL DS1102E

4.2.3 Generador de señales BX PRECISION 4084 AWG

Durante el desarrollo de las pruebas fue necesario generar señales de tipo sinusoidal y tipo cuadradas. Se debía conocer el valor exacto de frecuencia y magnitud de estas señales. Esto con la finalidad de compararlos con los valores entregados por el osciloscopio. Para esto se utilizó el generador de señales BX PRECISION 4084 AWG el cual cuenta con las siguientes características técnicas.

Tabla 20. Características técnicas del generador de señales BX PRECISION 4084 AWG

Característica	BX PRECISION 4084 AWG
Ancho de banda	1μHz ~ 20MHz
Estabilidad de frecuencia	$\pm 1 \times 10^{-6}$ (22°C $\pm 5^\circ\text{C}$)
Resolución	1μHz
Precisión	$\leq \pm 5 \times 10^{-6}$ (22°C $\pm 5^\circ\text{C}$)
Impedancia de salida	50 Ω
Protección	Contra sobrecarga y cortocircuito
Fuente de alimentación	198~242V o 99~121V, Frecuencia: 47~ 63Hz
Dimensiones	255 x 100 x 370 mm
Consumo de potencia	<35VA



Ilustración 58. Generador de señales BX PRECISION 4084 AWG

4.2 RESPUESTA REAL DE LOS ELEMENTOS DE ADECUACION Y FILTRO DE SEÑAL

Se verificó el correcto funcionamiento de los elementos de adecuación de señal y el filtro pasa-banda. Las pruebas se realizaron utilizando los equipos del laboratorio de electrónica de la Universidad del Valle mencionados en la sección anterior. Se explicó el protocolo de pruebas implementado para cada uno de los elementos del sistema y se presentaron los resultados obtenidos.

4.3.1 Respuesta de los elementos de adecuación de señal

Se inició con el integrado LM324. El protocolo de prueba para este integrado consistió en introducir a su pin de entrada una señal cuadrada de 0 a 3.3 V entregada por el generador de señales. Utilizando el osciloscopio se midieron las

señales en el pin de salida del integrado y la señal entregada por el acople AC. Se concluyó de acuerdo a los resultados obtenidos. La ilustración 59 muestra el montaje implementado para la prueba.

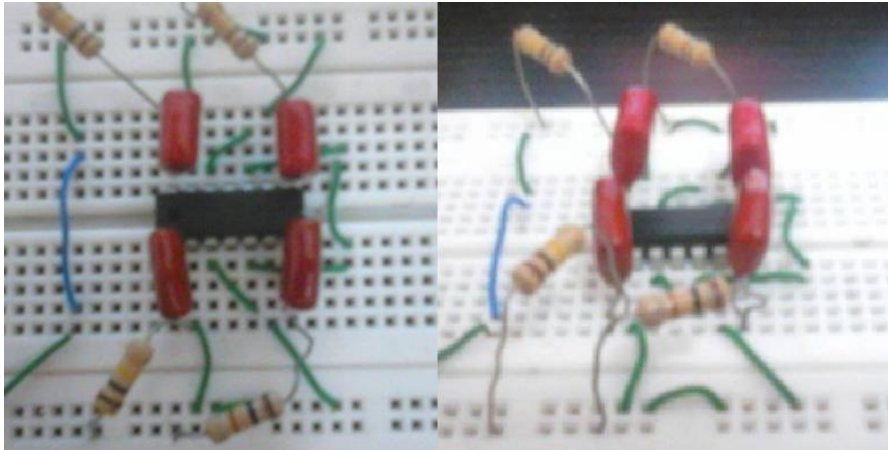


Ilustración 59. Circuito implementado para la prueba del integrado LM324



Ilustración 60. Señal de entrada al integrado LM324 tipo cuadrada, 3.2kHz, 1 V/División; V_{pp} 3.31 V; V_{min} 0V; V_{max} 3.31 V

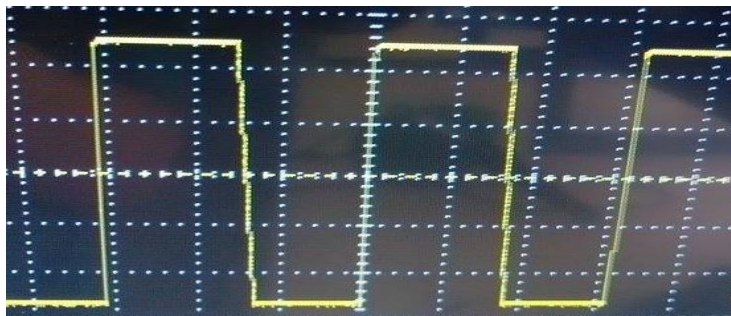


Ilustración 61. Señal de salida del integrado LM324 tipo cuadrada, 3.2kHz, 2 V/División; V_{pp} 10.3 V; V_{min} 60 mV; V_{max} 10.3 V

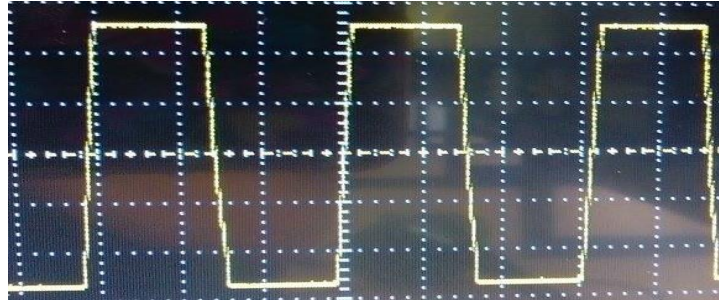


Ilustración 62. Señal entregada por el acople AC tipo cuadrada, 3.2 kHz, 2 V/División; Vpp 10.5 V; Vmin -5.28 V; Vmax 5.28 V

Se observó que el circuito implementado es adecuado. Ya que este cumple con su función, la cual es incrementar el nivel de tensión de la señal entregada por el microcontrolador. El acople AC utilizado cumple ya que remueve la componente DC de la señal, transformándola en una señal bipolar a ± 5 V. A demás la forma de onda y la frecuencia de la señal original no se modificaron de manera considerable.

Siguiente se trabajó con el integrado LM311. El protocolo de pruebas implementado para este integrado consistió en introducir a su pin de entrada una señal de tipo sinusoidal a ± 6 V. Se seleccionó este tipo de señal debido a que se esperaba sea la entregada por el filtro pasa-banda. Para la prueba se ajustó el voltaje de referencia a 0 V. Utilizando un divisor de tensión se obtuvo 3.3 V a partir de una fuente de alimentación de 5 V. Estos 3.3 V en conjunto con una resistencia de “pull-up” se utilizaron para obtener la señal cuadrada de 0 a 3.3 V. La cual es ideal para el microcontrolador del dispositivo receptor. El proceso explicado anteriormente se realizó con una señal de entrada de frecuencia 3.2 kHz y 8.8 kHz. La ilustración 63 muestra el montaje realizado para la prueba.

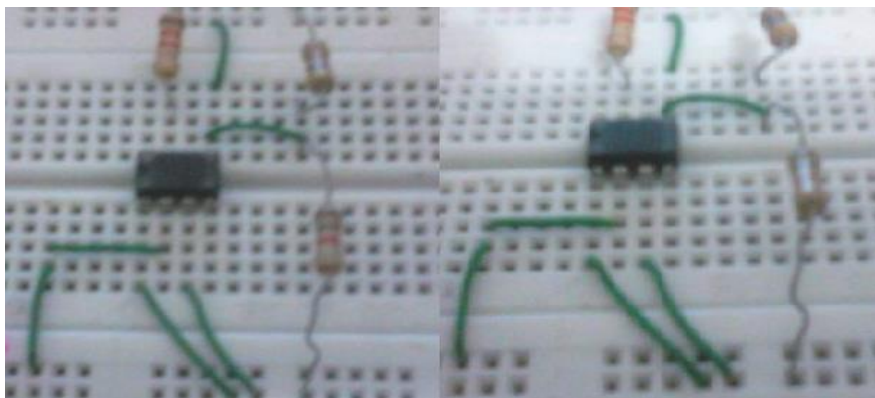


Ilustración 63. Circuito implementado para la prueba del integrado LM311

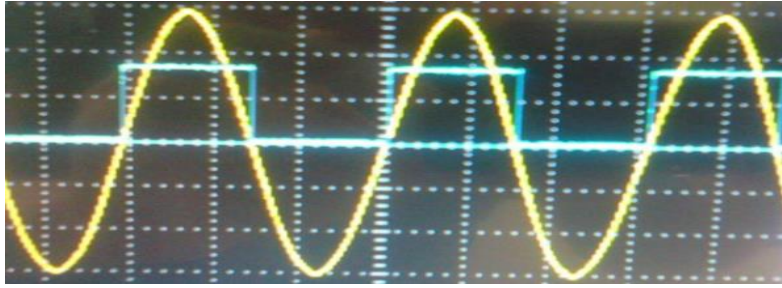


Ilustración 64. Señal de entrada al integrado LM311 3.210 kHz (Amarilla), V_{pp} 11.9 V, V_{min} -6 V, V_{max} 5.92 V, 2 V/División; Señal de salida del integrado LM311 3.221 kHz (Azul), V_{pp} 3.44 V, V_{min} 0 V, V_{max} 3.44 V, 2 V/División



Ilustración 65. Señal de entrada al integrado LM311 8.757 kHz (Amarilla), V_{pp} 11.9 V, V_{min} -6.05 V, V_{max} 5.92 V, 2 V/División; Señal de salida del integrado LM311 8.757 kHz (Azul), V_{pp} 3.44 V, V_{min} 0 V, V_{max} 3.44 V, 2 V/División

Se observó que el funcionamiento del circuito planteado era adecuado. Ya que para la entrada se obtuvo una señal de tipo cuadrada de 0 a aproximadamente 3.3 V. Esta señal tiene prácticamente la misma frecuencia que la señal de entrada y su variación de tensión es adecuada para no dañar el microcontrolador. El LM311 funciona perfectamente dentro del rango de frecuencias de identificación que se está utilizando (3.2 kHz- 8.8 kHz).

4.3.2 Respuesta del filtro pasa-banda (Receptor)

Para verificar el correcto funcionamiento del filtro pasa-banda se utilizó el siguiente protocolo. Este consistió en 2 pruebas: Para la primera se introdujo al filtro una señal sinusoidal. Utilizando el osciloscopio se observó la salida del filtro para las frecuencias 3.2 kHz y 8.8 kHz. Con esto se verificó que el filtro estuviese correctamente ajustado. La segunda prueba consistió en cambiar la señal sinusoidal por una señal cuadrada. Esto con la finalidad de observar el

comportamiento del filtro ante este tipo de señales. De igual manera se trabajó con 3.2 kHz Y 8.8 kHz. La ilustración 66 muestra el montaje implementado para realizar estas pruebas.

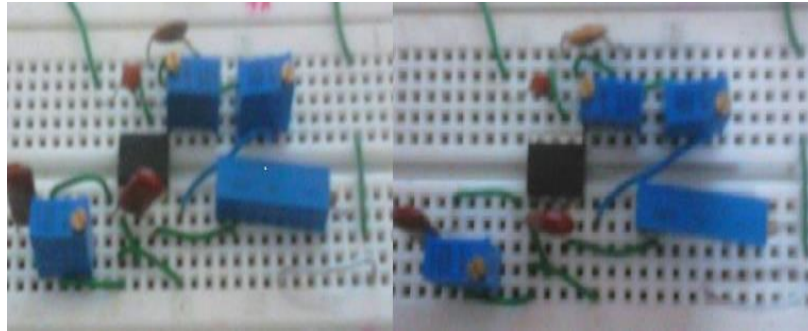


Ilustración 66. Circuito implementado para la prueba del filtro pasa-banda



Ilustración 67. Señal de entrada al filtro pasa banda 3.413 kHz (Amarilla), V_{pp} 5.76 V, V_{min} -2.79 V, V_{max} 2.96 V, 2 V/División; Señal del salida del filtro pasa banda 3.425 kHz (Azul), V_{pp} 4.48 V, V_{min} -2.16 V, V_{max} 2.31 V, 2 V/División; Atenuación 22.2 %



Ilustración 68. Señal de entrada al filtro pasa banda 8.898 kHz (Amarilla), V_{pp} 6.63 V, V_{min} -3.27 V, V_{max} 3.35 V, 2 V/División; Señal del salida del filtro pasa banda 8.865 kHz (Azul), V_{pp} 5.03 V, V_{min} -2.55 V, V_{max} 2.45 V, 2 V/División; Atenuación 24.13%

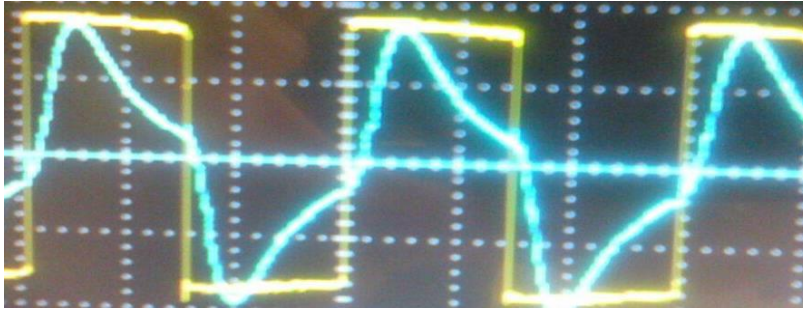


Ilustración 69. Señal de entrada al filtro pasa banda 3.401 kHz (Amarilla), Vpp 7.19 V, Vmin -3.51 V, Vmax 3.68 V, 2 V/División; Señal del salido del filtro pasa banda 3.401 kHz (Azul), Vpp 7.36 V, Vmin -3.75 V, Vmax 3.59 V, 2 V/División; Atenuación 0 %



Ilustración 70. Señal de entrada al filtro pasa banda 8.865 kHz (Amarilla), Vpp 7.03 V, Vmin -3.44 V, Vmax 3.59 V, 2 V/División; Señal del salido del filtro pasa banda 8.865 kHz (Azul), Vpp 5.36 V, Vmin -2.72 V, Vmax 2.64 V, 2 V/División; Atenuación 23.75 %

Se pudo observar durante el desarrollo de la prueba que la señal de salida dentro del rango de frecuencias de identificación (3200 Hz /8800 Hz) no sufre una atenuación considerable. Fuera de este rango de frecuencias la señal de salida se atenuó de acuerdo a lo esperado. La respuesta del filtro ante señales de tipo cuadrada fue la esperada. La señal original se deforma considerablemente y a medida que se incrementa su frecuencia tiende a tener una forma sinusoidal. La frecuencia de la señal no se ve afectada al pasar por el filtro.

La tabla 21 muestra la atenuación a la salida del filtro para cada una de las señales de identificación. Se pudo observar que los valores nos superan un xx% por lo tanto el diseño del filtro es satisfactorio. Adicionalmente se tiene la atenuación del filtro en las frecuencias de corte (2 kHz y 12 kHz).

Tabla 21. Porcentaje de atenuación a la salida del filtro pasa-banda para cada una de las frecuencias de identificación y las frecuencias de corte

Señal	Frecuencia [Hz]	Vpp_entrada[V]	Vpp_salida [V]	Atenuación [%]
Corte inferior	2000	12,40	12,00	3,23
Identificación # 1	3200	12,40	13,20	0,00
Identificación # 2	4000	12,60	12,60	0,00
Identificación # 3	4800	12,60	11,40	9,52
Identificación # 4	5600	12,40	10,20	17,74
Identificación # 5	6400	12,60	9,40	25,40
Identificación # 6	7200	12,60	9,00	28,57
Identificación # 7	8000	12,60	8,80	30,16
Identificación # 8	8800	12,60	8,60	31,75
Corte superior	12000	12,60	7,50	40,48

4.4 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA ZONA DE PRUEBA FINAL

En la zona exterior del laboratorio de máquinas eléctricas rotativas de la Universidad del Valle se tiene un transformador de baja tensión. Éste se conecta a un transformador elevador ubicado en el interior del laboratorio para suministrar energía al tablero de control.

Desde el tablero de control se realizan todas las conexiones para alimentar las máquinas del laboratorio. Se aprovecharon estas conexiones para enviar la señal generada por el transmisor a cada una de las máquinas y con esto simular la conexión de acometida de un usuario. El receptor se ubicó en los bornes de la máquina en espera a recibir la señal enviada desde el tablero de control.

La ilustración 59 muestra la disposición espacial de los elementos de interés dentro del laboratorio de máquinas de la universidad del valle.

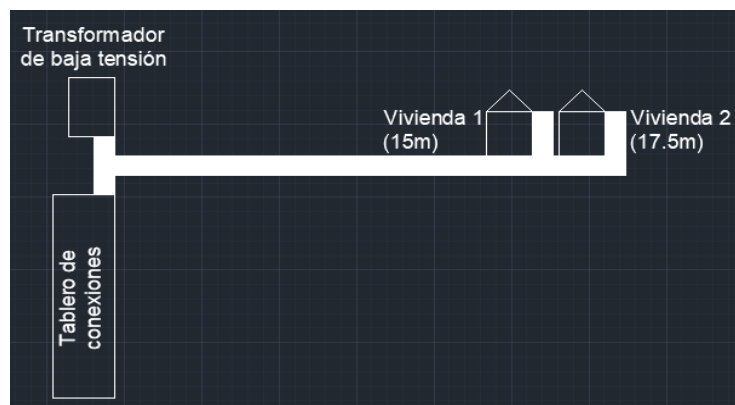


Ilustración 71. Disposición de los elementos dentro del laboratorio de máquinas de la Universidad del Valle

La zona blanca representa la tubería por la cual van todos los conductores. El recorrido de tubería, desde la salida del tablero de control hasta cada una de las máquinas, dio una aproximación de la longitud del conductor por el cual se envió la señal de identificación.

Se estudió cada una de las máquinas ubicadas dentro del laboratorio observando sus conexiones. Esto con la finalidad de conocer cuáles serían las ideales para realizar la prueba, y se llegó a la conclusión de utilizar las dos máquinas Westinghouse, ya que eran las únicas que tenían conexión directa desde el tablero de control.

La distancia de conductor desde el tablero de control hasta la caja de bornes de las máquinas Westinghouse es de 15 y 17,5 m. Dado que se necesitaba tener una conexión de al menos 30 m, fue necesario realizar una conexión entre las dos viviendas. Esta conexión consistió en unir los circuitos de las dos viviendas a través del tablero de conexión. Se introdujo la señal desde la vivienda ubicada a 17.5 m y se recibió la señal desde la vivienda ubicada a 15 m. Al realizar esto se tuvo una distancia combinada de 32.5 m.

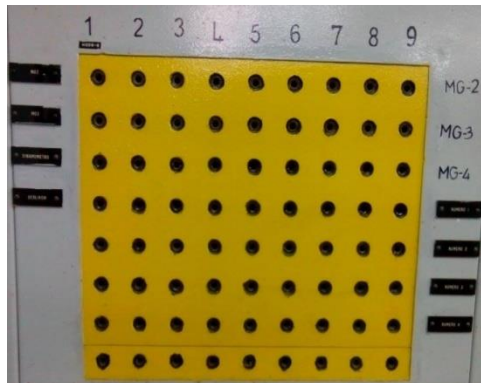


Ilustración 72. Tablero de conexiones del laboratorio de máquinas de la Universidad del Valle

4.5 PROTOCOLO Y RESULTADOS DE PRUEBAS DE VALIDACIÓN DEL SISTEMA PARA DISTANCIAS MAYORES A 10 METROS

Para validar el dispositivo se diseñó un protocolo de 4 pruebas para analizar los efectos que produce en la señal de identificación la transmisión a través de los conductores de longitudes mayores a 10 metros.

La primera prueba consistió en transmitir las 8 señales de identificación a lo largo de las distancias seleccionadas, y se tomaron mediciones de la amplitud, frecuencia y forma de onda de la señal de tensión en los bornes de la máquina.

Esto se realizó con la finalidad de conocer si la señal de identificación se atenúa considerablemente y si su frecuencia sufre cambios que podrían afectar el funcionamiento del receptor.

En la segunda prueba se hicieron mediciones de la tensión inducida en el circuito adyacente al cual se introdujo la señal de identificación, y se tomaron las mismas variables que en la primera prueba. Al realizar esta prueba se buscaba conocer el porcentaje de magnitud de señal de identificación inducida y si la frecuencia era la misma.

La tercera prueba consistió en transmitir dos de las señales de identificación en DC y se realizaron las mismas mediciones que en las dos pruebas anteriores. Esto permitió comparar los dos tipos de transmisión para observar las diferencias entre ambas y con esto poder seleccionar cual es la más adecuada.

Para finalizar se transmitió una señal de tipo cuadrada a lo largo de la distancia de 32.5 m. Se realizó un barrido de frecuencia (10 Hz A 10 MHz) con la finalidad de conocer la relación entre la inducción de tensión en el circuito adyacente y la frecuencia.

Para el desarrollo de la prueba se tuvieron dos montajes: uno para el dispositivo transmisor y otro para el receptor. Las ilustraciones 74 y 75 muestran los circuitos utilizados.

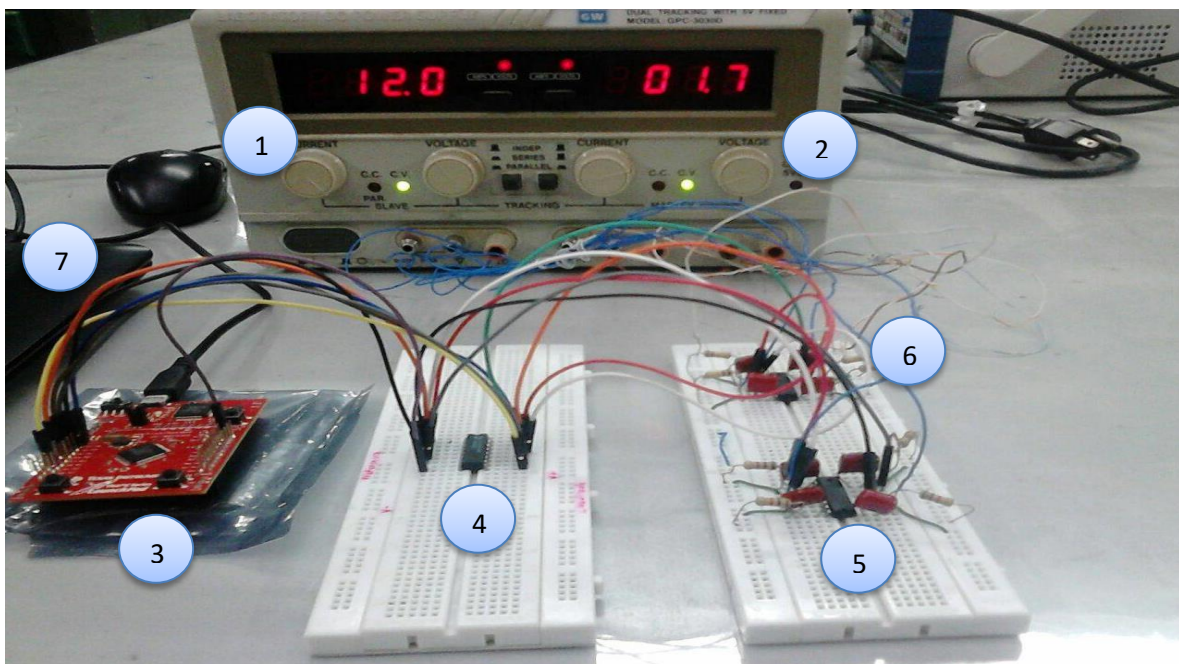


Ilustración 73. Montaje implementado en la prueba de validación (Dispositivo transmisor)

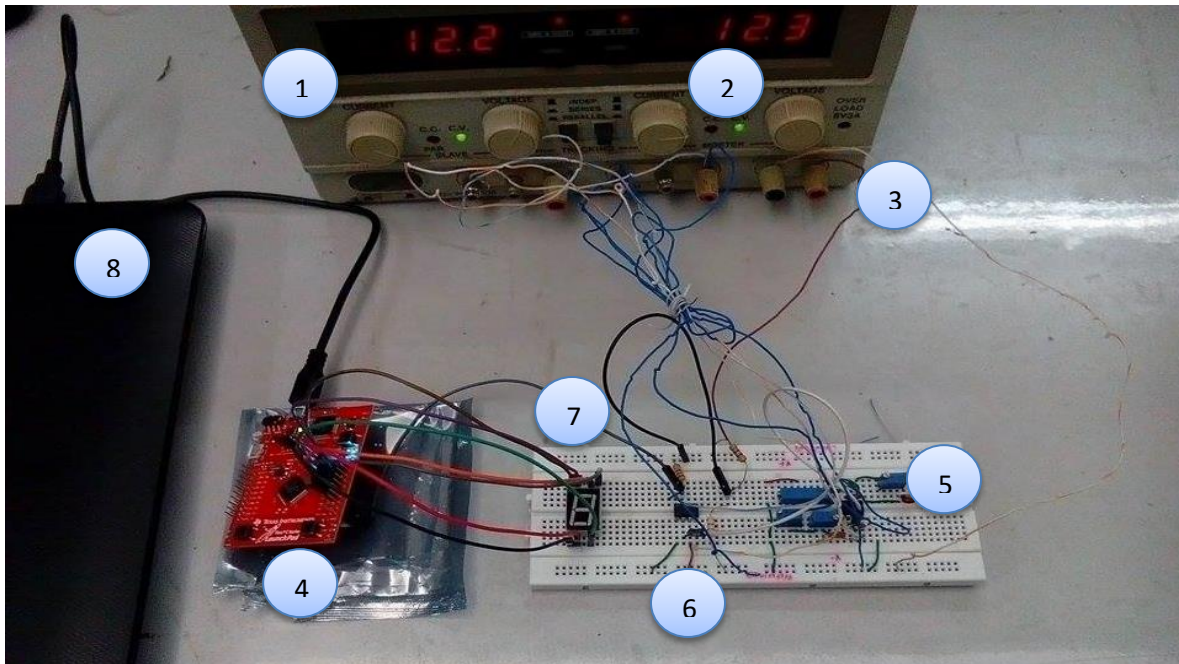


Ilustración 74. Montaje implementado en la prueba de validación (Dispositivo receptor)

Montaje dispositivo transmisor:

1. Fuente regulada GW INSTEK GPC-3030D, canal 1 ,**12 V**
2. Fuente regulada GW INSTEK GPC-3030D, canal 2 ,**1.7 V**
3. Tarjeta Tiva C ubicada en el dispositivo transmisor
4. Multiplexor CD4051
5. Integrado LM324 #1
6. Integrado LM324 #2
7. PC para visualizar la información enviada

Montaje dispositivo receptor:

1. Fuente regulada GW INSTEK GPC-3030D, canal 1 ,**+12 V**
2. Fuente regulada GW INSTEK GPC-3030D, canal 2 ,**-12 V**
3. Fuente regulada GW INSTEK GPC-3030D, canal 3 ,**5 V**
4. Tarjeta Tiva C ubicada en el dispositivo receptor
5. Filtro pasa banda
6. Comparador LM311P
7. Led 7 segmentos ánodo común
8. PC para visualizar la información recibida

A continuación se muestran los resultados obtenidos en las tablas 17,18, 19 y 20.

Tabla 22. Resultados obtenidos de la transmisión de señal a distintas distancias

	Señal enviada			Señal recibida			Porcentaje de atenuación [%]
	Amplitud [Vpp]	Frecuencia [Hz]	Tipo de onda	Amplitud [Vpp]	Frecuencia [Hz]	Tipo de onda	
15 m	23,40	3200	Cuadrada	23,20	3160	Cuadrada	0,85
	23,40	4000	Cuadrada	22,80	4030	Cuadrada	2,56
	23,40	4800	Cuadrada	23,20	4900	Cuadrada	0,85
	23,40	5600	Cuadrada	22,80	5800	Cuadrada	2,56
	23,40	6400	Cuadrada	22,80	6580	Cuadrada	2,56
	23,40	7200	Cuadrada	22,80	7040	Cuadrada	2,56
	23,40	8000	Cuadrada	23,00	8330	Cuadrada	1,71
	23,40	8800	Cuadrada	23,20	8620	Cuadrada	0,85
17,5 m	23,40	3200	Cuadrada	21,40	3210	Cuadrada	8,55
	23,40	4000	Cuadrada	21,40	3970	Cuadrada	8,55
	23,40	4800	Cuadrada	21,20	4850	Cuadrada	9,40
	23,40	5600	Cuadrada	21,40	5620	Cuadrada	8,55
	23,40	6400	Cuadrada	21,20	6420	Cuadrada	9,40
	23,40	7200	Cuadrada	21,00	7230	Cuadrada	10,26
	23,40	8000	Cuadrada	21,20	8040	Cuadrada	9,40
	23,40	8800	Cuadrada	20,80	8900	Cuadrada	11,11
32,5 m	12,00	3200	cuadrada	11,43	3205	Cuadrada	4,75
	12,00	4000	cuadrada	11,47	4032	Cuadrada	4,42
	12,00	4800	cuadrada	11,35	4808	Cuadrada	5,42
	12,00	5600	cuadrada	11,38	5556	Cuadrada	5,17
	12,00	6400	cuadrada	11,40	6410	Cuadrada	5,00
	12,00	7200	cuadrada	11,43	7143	Cuadrada	4,75
	12,00	8000	cuadrada	11,48	8065	Cuadrada	4,33
	12,00	8800	cuadrada	11,46	8929	Cuadrada	4,50

Para la distancia de 32.5 m se transmitieron señales a ± 6 V. Esto se realizó debido a que se consideró que este nivel de tensión sería una alternativa viable para la transmisión de la señal de identificación.

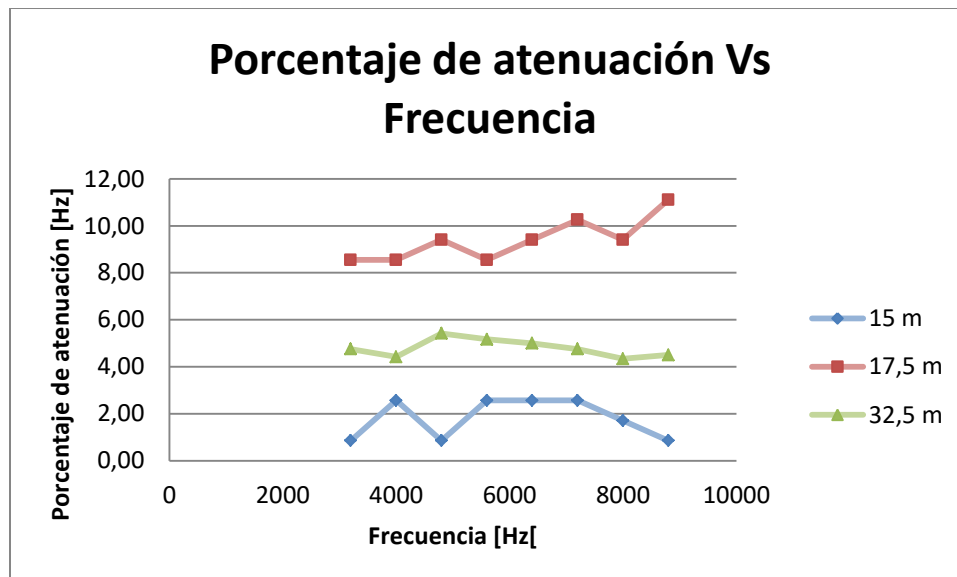


Ilustración 75. Gráfica del porcentaje de atenuación en función de la frecuencia de la señal de identificación

De la ilustración 75 se observa que la atenuación de la señal depende tanto de la distancia como del nivel de tensión seleccionado para hacer la transmisión. Dado esto la transmisión a ± 6 V resultaría ser más beneficiosa para el dispositivo.

Tabla 23. Resultados obtenidos para la inducción de tensión en el circuito adyacente al de la señal de identificación

	Frecuencia original [Hz]	Tensión inducida [Vpp]	Frecuencia inducida [Hz]	Tipo de onda	Porcentaje de tensión inducida [%]
15 m	3200	5,80	3160	Cuadrada	24,79
	4000	5,60	3970	Cuadrada	23,93
	4800	5,80	4850	Cuadrada	24,79
	5600	6,00	5680	Cuadrada achatada	25,64
	6400	6,20	6410	Cuadrada achatada	26,50
	7200	6,20	7140	Cuadrada achatada	26,50
	8000	5,20	7940	Cuadrada achatada	22,22
	8800	5,80	8620	Cuadrada achatada	24,79
17,5 m	3200	5,80	3210	Cuadrada	24,79
	4000	5,50	3970	Cuadrada	23,50
	4800	5,45	4780	Cuadrada	23,29
	5600	5,50	5620	Cuadrada achatada	23,50
	6400	5,80	6410	Cuadrada achatada	24,79
	7200	5,70	7250	Cuadrada achatada	24,36
	8000	5,40	8060	Cuadrada achatada	23,08
	8800	5,80	8870	Cuadrada achatada	24,79
32,5 m	3200	2,63	3205	Cuadrada	21,92
	4000	2,62	4000	Cuadrada	21,83
	4800	2,53	4785	Cuadrada	21,08
	5600	2,48	5560	Cuadrada	20,67
	6400	2,49	6410	Cuadrada	20,75
	7200	2,44	7246	Cuadrada	20,33
	8000	2,47	8065	Cuadrada	20,58
	8800	2,47	8772	Cuadrada	20,58

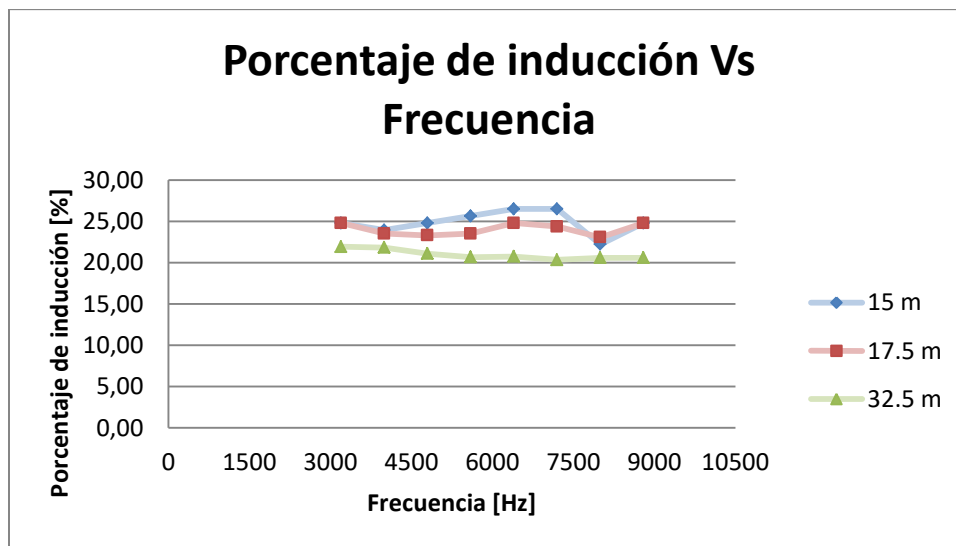


Ilustración 76. Gráfica del porcentaje de inducción en función de la frecuencia de la señal de identificación

Tabla 24. Resultados obtenidos de la transmisión de señal para 2 señales de identificación en DC

Distancia [m]	Señal enviada		Señal recibida	
	Magnitud [Vmax]	Frecuencia [Hz]	Magnitud [Vmax]	Frecuencia [Hz]
15	12,00	3200	11,80	Fluctuante
	12,00	8800	11,90	Fluctuante
17,5	12,00	3200	11,40	Fluctuante
	12,00	8800	11,80	Fluctuante

Tabla 25. Resultados obtenidos del barrido de frecuencia y la medición de la inducción de tensión

Señal enviada		Señal recibida	
Amplitud [Vpp]	Frecuencia [Hz]	Amplitud [Vpp]	Frecuencia [Hz]
12,00	10	/	fluctuante
12,00	100	2,44	125
12,00	1000	2,65	1000
12,00	10000	2,56	10000
12,00	100000	2,51	100000
12,00	1000000	5,30	1000000
12,00	6000000	3,92	5882000

A continuación, se muestran algunas de las formas de onda de las señales obtenidas para la distancia de 32.5 m.



Ilustración 77. Señal medida al ser transmitida a 32.5 m, Vmax 1.38 V, Vmin -0.96 V, Vpp 2.35 V, Frecuencia 3.205 kHz, 5 V/División



Ilustración 78. Señal medida al ser transmitida a 32.5 m, Vmax 1.38 V, Vmin -0.96 V, Vpp 2.35 V, Frecuencia 3.205 kHz, 5 V/División

4.6 CONCLUSIONES

Se obtuvieron resultados satisfactorios de la implementación del algoritmo seleccionado para realizar la identificación de la acometida. Durante la prueba a corta distancia no se presentaron errores de sincronización en el proceso de identificación de la señal. Se verificó que el multiplexado funciona correctamente al igual que el indicador 7 segmentos.

Al finalizar la prueba en el laboratorio de máquinas de la Universidad del Valle y analizar los resultados, se adquirió información valiosa para enriquecer el diseño del sistema y se validó la alternativa tomada de adecuación de la señal de identificación para ser transmitida.

Con respecto al estado de la señal de identificación en el extremo receptor no se esperaba obtener resultados tan satisfactorios. Se observó que el error de magnitud para las 3 distancias estudiadas fue inferior al 10%. Esto indica que la señal de identificación no se ve afectada considerablemente en su magnitud al ser transmitida por el conductor. La frecuencia que es la variable de mayor importancia para el sistema solo cambia en un 5%. Esto facilita el proceso de identificación por parte del dispositivo receptor.

Debido a la cantidad y distribución de los conectores en el laboratorio, era de esperar que la señal de identificación indujera una tensión en los circuitos adyacentes. Los porcentajes de tensión inducida fueron sorpresivamente elevados ya que superaron el 25% y se indujo una frecuencia prácticamente igual. Esto puede generar inconvenientes cuando se identifiquen conexiones de manera simultánea. Lo que se propone para solucionar este problema es la implementación de un comparador de tipo ventana para limitar el nivel de tensión a un valor superior al de la tensión inducida. Esto ocasionaría que el comparador omitiera las señales que son inducidas en el circuito adyacente. Otra alternativa es incrementar el voltaje de referencia del comparador convencional para las tensiones inducidas no se tengan en cuenta. Como última alternativa se puede dar la responsabilidad de identificar que señales son aceptables al microcontrolador, ya que es el elemento más capaz del dispositivo.

Al transmitir en DC se observó un alto rizado en la señal recibida y una constante fluctuación en el valor de la frecuencia. Con respecto a la inducción en el circuito adyacente se obtuvo una mejoría ya que el porcentaje de inducción se redujo a la mitad y la frecuencia no se mantuvo en un valor fijo.

Al realizar el barrido de frecuencia se evidenció que a medida que incrementa la frecuencia la inducción en el circuito adyacente también lo hace. Para los valores

de frecuencias utilizadas para las señales de identificación se obtuvo una de las inducciones mínimas. Por lo tanto se considera que estos valores son adecuados.

Los resultados obtenidos favorecen la transmisión en DC sin embargo consultando al docente del grupo de investigación Convergía Ph.D José Luis Oslinger, quien ha realizado pruebas similares, recomendó repetir la transmisión DC agregando un offset a la señal, lo cual permitiría obtener resultados más contundentes.

5 CONCLUSIONES GENERALES

Como resultado de este trabajo de grado se entrega el diseño de un sistema electrónico para la verificación e identificación de acometidas monofásicas de baja tensión. Este dispositivo cuenta con las características de portabilidad, simpleza en su manipulación, recargable y con la capacidad de identificar las conexiones de acometidas a por lo menos 30 m. Este trabajo representa una base para futuros proyectos de ingeniería relacionados con la detección e identificación de conexiones eléctricas, y una alternativa de solución a los problemas relacionados con la desactualización de la información referente al estado de las acometidas de las empresas prestadoras del servicio eléctrico en Colombia.

Utilizando las principales normativas relacionadas con las instalaciones eléctricas y los manuales de instalación de las empresas prestadoras del servicio eléctrico, se caracterizó el concepto de “acometida”, lo que otorgó valiosa información para definir los requerimientos del sistema.

Se investigaron técnicas para la detección de conexiones eléctricas, y se estudiaron patentes de dispositivos relacionados con el de este trabajo de grado al igual que catálogos de detectores de cables comerciales. Gracias a esto se identificaron características comunes las cuales sirvieron de base para la elaboración del diseño del sistema. Otro factor que se tuvo en cuenta para el desarrollo del diseño fue el entorno de trabajo de los operarios, ya que esto limitaba algunas características como tamaño, fuente de alimentación, etc.

La mayoría de las patentes estudiadas basan sus diseños en elementos electrónicos análogos. Debido a esto, presentaban un grado de complejidad alto. Ya que una de las principales características del sistema debía ser la portabilidad, se tomó la decisión de implementar una plataforma de desarrollo micropocesada, la cual sintetizaba una gran variedad de herramientas y permitió implementar los algoritmos planteados en este trabajo.

Las pruebas realizadas fueron de gran utilidad para validar muchas de las decisiones tomadas con respecto a los elementos del sistema. Sin embargo es recomendable realizar una prueba directamente en un transformador de baja tensión “urbano”, con la finalidad de conocer a ciencia cierta el comportamiento del sistema ante una distribución de acometidas residenciales.

El diseño desarrollado en este trabajo a pesar de cumplir con su propósito deja las puertas abiertas a futuros trabajos, que pueden ser enfocados a mejorar su funcionamiento o a adicionar funciones de medición o comunicación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Minas y Energías-MINMINAS, “Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas –RETIE”, Resolución 90708, p.165, 2013.
- [2] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “Código Eléctrico Colombiano-NTC 2050”, ICONTEC, Sección 230, pp. 76-88, 1998.
- [3] Empresas Municipales de Cali, “Normas Técnicas de Energía - Normas De Diseño- Instalación y Medida”, Resolución 0407, pp. 5-11, 2006.
- [4] Empresa de Energía del Pacífico S.A E.S.P, “Norma Técnica de Medición y Acometida”, EPSA, pp. 12-24, 2012.
- [5] Schonstedt Instrument Company, “A Quick Course on Magnetic, Cable and Pipe Locating”, 4 Edmond Road, Kearneysville, U.S.A, pp. 22-24, 2003.
- [6] Ridge Tool Company-RIDGID, “Making Locating Easier and More Accurate – Induction”, Elyria, Ohio, U.S.A, p 1.
- [7] T.Dean, Network+ Guide to Networks, 6th. ed, Boston, U.S.A, Ed Course Technology Cengage Learning, p.618, 2013.
- [8] R. Pallás, Instrumentos Electrónicos Básicos, 1st. ed, Barcelona, España, Ed Marcombo S.A, 2006, ch. 4.
- [9] J.A. Schultz, “Device for tracing electrical cable”, Patent US 2003/0086537 A1, Mayo 8, 2003.
- [10] G.R. Steber, T.M. Luebke, D.L. Wiesemann, “ Electrical circuit tracing apparatus using modulated tracing signals”, Patent US 6163144, Julio 20, 1998.
- [11] S. Choleyill, “Method and apparatus for tone tracing and tagging using mobile computer device”, Patent US 2015042307 (A1), Agosto 11, 2013.
- [12] H. J. Weber, “Electric outlet and cable tracing method and apparatus”, Patent US 4734638 (A), Mayo 28, 1986.
- [13] PCE Instruments, Manual de instrucciones Analizador de cables PCE-180 CBN, PCE Ibérica S.L, Albacete, España, Noviembre 26, 2014.
- [14] PCE Instruments, Manual de instrucciones de uso Detector de cables PCE-191 CBN, PCE Ibérica S.L, Albacete, España.

- [15] FLUKE, Model 2042 Cable Locator - Users Manual, Fluke Corporation, Everett, Washington, U.S.A, Mayo 2005.
- [16] R. Calvo Sánchez, “Transmisión de datos a través de la red eléctrica”, Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid, España.
- [17] Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board - User's guide, Texas Instrumets, SPMU296, Abril, 2013.
- [18] Tiva™ TM4C123GH6PM Microcontroller, Data sheet, Texas Instrumets, Austin, Texas, 2007-2014.
- [19] CD405xB CMOS Single 8-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer With Logic-Level Conversion, Texas Instruments, SCHS047H, revisado Abril, 2015.
- [20] XR-2206 Monolithic Function Generator, Data Sheet, EXAR, Junio, 1997.
- [21] XR-2211 FSK Demodulator/Tone Decoder, EXAR, Junio, 1997.
- [22] LM324 Quadruple Operational Amplifier, Data sheet, SLOS06E6, revisado Febrero, 1997.
- [23] A. Restrepo, “Aplicaciones No Lineales del AmpOp (1)”, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad del Valle, 2014.
- [24] A. Restrepo, “Aplicaciones Lineales del AmpOp”, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad del Valle, 2014.
- [25] XL6009, Data Sheet, XLSEMI, Rev.1.1.1. [Online]. Available: www.xlsemi.com
- [26] LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150 kHz 3A Step-Down Voltage Regulator, Texas Instruments, DS012583, Mayo, 2002.
- [27] NMA3-01, “Conexión acometidas en red abierta existente con conductores desnudos”, EPSA. [Online]. Available: <http://portal.epsa.com.co/Portals/0/PROVEEDORES/normas-tecnicas/medicion/NMA3-01.pdf>
- [28] (2008) ET925 Caja de borneras para derivación de acometidas, [Online]. Available: http://ikinormas.micodensa.com/Especificacion/cajas_armarios_medidores/et925_caja_borneras_derivacion_acometidas.
- [29] UART-Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 2017.