



## **UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

### **DISPOSITIVO CON INTERFAZ GRAFICA PARA ELESTUDIO DE LINEASDE TRANSMISIÓN DE ONDAS GUIADA**

**Autor:**  
Monroy, Luis Enrique  
CI.: 25.779.920

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master)



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA TELECOMUNICACIONES**

**DISPOSITIVO CON INTERFAZ GRÁFICA PARA EL ESTUDIO DE LINEAS  
DE TRANSMISIÓN DE ONDAS GUIADAS**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.**

**Autor:** Monroy, Luis Enrique  
C.I.: 25.779.920  
**Tutor:** Ing. Raniere Alezones

San Diego, 2019

## ANEXO D



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**  
**COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

### PLANILLA SOLICITUD: ANÁLISIS Y APROBACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

DATOS PERSONALES		
Apellidos: Monroy Vergara	Nombres: Luis Enrique	C.I.:25779920
Dirección: Urbanización Montesperino 12. Municipio San Diego. Estado Carabobo		Tlfno: 0412-8743526
DATOS ACADÉMICOS		
Escuela: Telecomunicaciones	Índice Académico: 11.63	
DATOS DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO		
Autores Nombre: Luis Monroy      Teléfono: 0412-8743526		
Título del Trabajo  <b>Diseño de un dispositivo con interfaz gráfica para el estudio de líneas de transmisión.</b>		
Breve Explicación: El presente trabajo de tesis se propone el diseño de un dispositivo con arduino nano, el cual a través de este y una interfaz gráfica permitirá el estudio de líneas de transmisión y podrá ser utilizado para el laboratorio en la materia sistema de ondas guiadas.		
Lugar donde se desarrollará el Proyecto Universidad José Antonio Páez		
Tiempo de Desarrollo 36 semanas		
Tutor Académico propuesto Ing. Raniere Alezones		

APROBADO   X        NO APROBADO \_\_\_\_\_

#### COMITÉ DE EVALUACIÓN

**COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO**

  Cecilia Arredondo    
Nombre

  Alejandra    
Firma

  5-4-19    
Fecha



**DIRECCIÓN DE ESCUELA**

  Ing. R. López    
Nombre

  [Signature]    
Firma

  5-4-19    
Fecha






REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA TELECOMUNICACIONES

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Raniere Alezones, titular de la cédula de identidad N° 8.843.809, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano LUIS ENRRIQUE MONROY titular de la cédula de identidad N° 25.779.920, titulado “DISEÑO DE UN DISPOSITIVO CON INTERFAZ GRÀFICA PARA EL ESTUDIO DE LINEAS DE TRANSMISIÓN”, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 22 de Mayo del año 2019

  
Ing. Raniere Alezones.  
C.I.: 8.843.809



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA TELECOMUNICACIONES

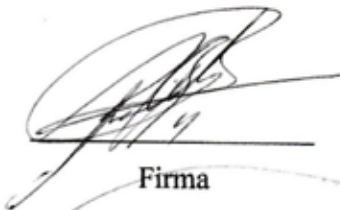
San Diego, Mayo del 2019

**ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **DISEÑO DE UN DISPOSITIVO CON INTERFAZ GRÁFICA PARA EL ESTUDIO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN** ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Raniere Alezones

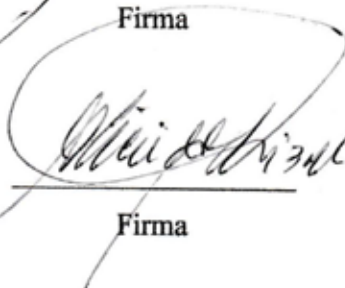
Tutor Académico

  
Firma

22/05/2019  
Fecha

Ing. Alicia De Pizzela

Tutor Metodológico

  
Firma

23-5-2019  
Fecha

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pp.</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO</b>	
<b>I EL PROBLEMA</b>	
1.1 Planteamiento del problema .....	2
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Objetivos de la investigación .....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos .....	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Alcance de la Investigación.....	4
1.6 Limitaciones .....	4
<b>II MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes .....	5
2.2 Bases teóricas .....	7
2.2.1 Línea de Transmisión .....	7
2.2.1.1 Análisis teórico de una línea de transmisión.....	7
2.2.1.2 Parámetros primarios de una línea de transmisión.....	9
2.2.2 Ecuaciones de una línea de transmisión .....	12
2.2.3 Tipos de líneas de transmisión.....	15
2.2.3.1 Líneas Rígidas.....	16

2.2.3.2 Líneas Flexibles .....	16
2.2.3.3 Líneas Balanceadas.....	17
2.2.3.4 Líneas no Balanceadas .....	18
2.2.4 Características de las líneas de transmisión.....	18
2.2.5 Plataforma de desarrollo Arduino.....	19
2.2.6 Interfaz gráfica LABVIEW .....	21
2.3 Definición de términos básicos .....	22

### **III MARCO METODOLÓGICO**

3.1 Tipo de investigación .....	23
3.2 Diseño de la investigación.....	23
3.3 Nivel de la investigación .....	23
3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos .....	24
3.5 Fases de la Investigación.....	25

### **IV RESULTADOS**

4.1 Fase I .....	27
4.1.1 Principio de funcionamiento del Reflectómetro.....	27
4.1.2 Funcionamiento y esquema del Reflectómetro.....	30
4.1.3 Interpretación del pulso reflejado del Reflectómetro.....	32
4.2 Fase II .....	32
4.2.1 Selección de los componentes para la arquitectura del Hardware.....	33
4.2.1.1 Arduino .....	33
4.2.1.2 Splitter BNC.....	34
4.2.1.3 Generador de Señales.....	35
4.2.2 Selección de los componentes del Software para el estudio de las líneas de transmisión.....	36
4.2.1 Software de Programación LABVIEW .....	36
4.2.3 Diseño de la arquitectura del Hardware.....	37

4.2.3.1 Diseño del esquemático de la arquitectura del Hardware .....	38
4.3 Fase III.....	40
4.3.1 Diseño de la conversión analógica-digital en el software Arduino .....	40
4.3.2 Diseño de la comunicación entre Arduino y LABVIEW. ....	41
4.3.3 Diseño de la interfaz en el software LABVIEW. ....	44
4.3.4 Pruebas de la interfaz en el software LABVIEW. ....	47
4.3.4.1 Prueba Circuito Abierto .....	48
4.3.4.2 Prueba Corto Circuito .....	49
4.3.4.3 Prueba Carga Adaptada.....	50
4.3.4 Estudio de factibilidad económico, social y ambiental .....	51
4.3.4.1 Factibilidad económica. ....	51
4.3.4.2 Factibilidad Ambiental.....	52
4.3.4.3 Factibilidad Social.....	52
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### FIGURA Pp.

Circuito Equivalente de una línea de transmisión.....	8
Ondas de una línea de transmisión.....	8
Campo magnético alrededor de un conductor.....	10
Campo magnético en un conductor. a) Campo magnético interno y b) Campo magnético externo. ....	11
Elemento infinitesimal de una línea de transmisión. ....	12
Onda incidente vista desde el generador.....	14
Onda reflejada por la carga, vista desde el generador.....	14
Línea Rígida.....	16
Líneas Flexibles .....	17
Líneas Balanceadas. ....	18
Líneas no balanceadas.....	18
Plataforma de desarrollo Arduino .....	20
Pulso transmitido de un TDR.....	29
Pulso reflejado de un TDR.....	29
Diagrama de bloques del Reflectómetro.....	30
Placa Arduino UNO .....	34
Splitter BNC.....	35
Generador de Señales.....	35
Diagrama de conexiones .....	37
Diseño del esquemático del hardware.....	39
Diseño del esquemático 2. ....	39
Diagrama de flujo del programa Arduino .....	40
Comunicación Unidireccional.....	41
Comunicación Arduino- LabView (paso #1).....	42

Comunicación Arduino- LabView (paso #2).....	42
Comunicación Arduino- LabView (paso #3).....	43
Comunicación Arduino- LabView (paso #4).....	43
Comunicación Arduino- LabView (paso #5).....	44
Lectura del boque Read.....	44
Salida de la señal del cable.....	45
Panel de control.....	45
Panel gráfico. ....	46
Interfaz final .....	47
Prueba Circuito abierto. ....	49
Prueba Corto Circuito .....	50
Prueba Carga Adaptada.....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Característica de los cables coaxiales .....	19
Tabla 2. Especificaciones técnicas del software Arduino.....	21
Tabla 3. Especificaciones técnicas de la placa Arduino UNO.....	33
Tabla 4. Base de datos.....	48
Tabla 5. Lista de materiales .....	51
Tabla 6. Costo de mano de obra.....	52



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

## **DISEÑO DE UN DISPOSITIVO CON INTERFAZ GRÁFICA PARA EL ESTUDIO DE LINEAS DE TRANSMISIÓN DE ONDAS GUIADAS**

**Autor:** Monroy, Luis Enrique

**Tutor:** Ing. Raniere Alezones.

**Fecha:** Diciembre 2019.

### **RESUMEN**

Hoy en día un gran número de estudiantes de la Universidad José Antonio Páez no cuentan con un Laboratorio de Sistemas de Ondas Guiadas el cual permita visualizar o estudiar distintos tipos de señales obtenidas por una guía de onda siendo esto un problema grande para la preparación y formación del alumno. Por lo tanto, la propuesta de este trabajo de grado es diseñar un dispositivo con interfaz gráfica para el estudio de líneas de transmisión de ondas guiadas con el fin de hacer uso en la asignatura de Sistemas de Ondas Guiadas en la escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad José Antonio Páez, para mejorar el aprendizaje de los estudiantes y que estos adquieran nuevas competencias y así puedan ampliar conocimiento en su carrera profesional. La propuesta anterior está basada en tres fases elementales como lo son: estudiar el funcionamiento de un reflectómetro, determinar la arquitectura del hardware del dispositivo y por último diseñar la interfaz gráfica para el estudio de las líneas de transmisión de ondas guiadas. Por otro lado, se utilizará un Arduino con la finalidad de llevar la señal analógica a digital.

**Descriptor:** dispositivo, interfaz gráfica, líneas de transmisión, ondas guiadas.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente vivimos en la era de la tecnología específicamente con la aparición de dispositivos móviles como tabletas y teléfonos, en lo cual estos dispositivos están al alcance de la mayoría de los usuarios, con ello con tiene una gran variedad de aplicaciones de todo ámbito y permitiendo el acceso a cualquier información en cualquier momento y desde cualquier lugar del mundo.

Hoy en día un gran número de estudiantes poseen estos dispositivos móviles y tienen la facilidad de tener acceso a cualquier aplicación a desarrollar. Por lo que hay que aprovechar esta era tecnológica y ponerla a favor de cada usuario para desarrollar su proceso formativo en la universidad.

Por lo tanto, el objetivo principal del trabajo de grado es Diseñar un dispositivo con interfaz gráfica para el estudio de líneas de transmisión.

El presente trabajo de investigación está estructurado en cuatro capítulos, con el fin de cumplir las normativas establecidas por la Universidad José Antonio Páez, dichos capítulos se describen a continuación:

**Capítulo I:** referido al problema, su planteamiento el cual se trata de comprobar durante todo el curso de la investigación por medio de los objetivos generales y específicos, así como la justificación del estudio y su alcance.

**Capítulo II:** se hace hincapié en los antecedentes, bases teóricas los fundamentos legales.

**Capítulo III:** Marco Metodológico se plantea la naturaleza de la investigación, la cual por sus características, se trata de una investigación documental con carácter descriptivo, de modo que la estrategia metodológica seleccionada sirvió de guía para el desarrollo del trabajo de grado.

**Capítulo IV:** este capítulo se hablará de los recursos utilizados para por realizar este proyecto.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del problema**

El mundo actual, en constante evolución tecnológica, demanda cada vez más profesionales mejor preparados y competentes, esta es la clave para sostener el proceso de desarrollo económico y social en el que estamos involucrados en esta era del conocimiento. Estas virtudes se logran, por una parte, con el esfuerzo y la dedicación frente al proceso formativo, pero, por otra parte, y no menos importante, también depende en gran medida de las instituciones universitarias en el proceso.

Sin embargo, en la Universidad José Antonio Páez desde su creación viene formando profesionales en diferentes carreras universitarias altamente capacitados para dar solución a problemas reales de la sociedad. Actualmente en la Universidad específicamente en el Departamento de Ingeniería Telecomunicaciones en la materia Sistema de Ondas Guiadas no cuenta con un equipo en el cual se puedan realizar las distintas prácticas que demanda la materia, por lo que hace difícil el aprendizaje integral de los estudiantes de esta especialidad, y ellos se ven obligados a realizar las simulaciones de cada una de las prácticas y no tienen la posibilidad experimental de ver cómo se comporta las líneas de transmisión bajo ciertas condiciones.

Por otro parte adicionar el elemento práctico en el proceso de formación de cualquier profesional, donde se consoliden y complementen los conocimientos teóricos, es sumamente importante para el futuro graduado sobre todo si este último pertenece a alguna rama de las ciencias técnicas. Entorno a esto diseñar un dispositivo que a través de una interfaz gráfica permita al estudiante observar el comportamiento de las distintas ondas es una

necesidad que se hace evidente en el momento en el cual se pretende hacer que el estudiante adquiera los conocimientos en la parte práctica y que además le permita acercarse a la oportunidad de explorar, proponer, reflexionar y elaborar conclusiones a partir de las prácticas realizadas.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo se puede desarrollar un dispositivo en el cual permita observar las distintas gráficas de una línea de transmisión de manera que el estudiante afiance sus conocimientos teóricos– prácticos?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

Proponer un dispositivo con interfaz gráfica para el estudio de líneas de transmisión en la asignatura Sistema de Onda Guiada de la Universidad José Antonio Páez

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Estudiar el funcionamiento de los Reflectómetros aplicados en el estudio de las líneas de transmisión en el laboratorio de la asignatura Sistema de Onda Guiada de la Universidad José Antonio Páez
- Determinar el tipo de Hardware y su funcionamiento con el software de interfaz gráfica aplicada al estudio de las líneas de transmisión en el laboratorio de la asignatura Sistema de Onda Guiada en la Universidad José Antonio Páez
- Diseñar un dispositivo con uso de la interfaz gráfica aplicada al estudio de las líneas de transmisión en el laboratorio de la asignatura Sistema de Onda Guiada de la Universidad José Antonio Páez

## **1.4 Justificación**

Actualmente el laboratorio de la asignatura Sistema de Ondas Guiadas adscrita Departamento de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad José Antonio Páez (UJAP) no cuenta con un equipo donde se puedan realizar algunas

prácticas que demanda la materia, tal es el caso del comportamiento de las líneas de transmisión de ondas guiadas

Por lo que el presente trabajo de grado tiene como principal objetivo la propuesta de un diseño de dispositivo con interfaz gráfica para el estudio de líneas de transmisión en la asignatura Sistemas de Ondas Guiadas de la escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad José Antonio Páez. El hecho de poder diseñar un dispositivo propio nos da la posibilidad de adaptarnos a nuestras necesidades en vez de tener que adaptarnos nosotros a los dispositivos que hay en el mercado.

Lo que aporta gran relevancia científica ya que permitirá el desarrollo de un modelo teórico de creación de una interfaz gráfica para el estudio de las líneas de transmisión de ondas guiadas, así como la actualización de equipos electrónicos en la institución, así como también sería un aporte social como es la solución a un problema ya que habría mayor interacción de los estudiantes con sus prácticas en la materia. Para la Universidad José Antonio Páez y estudiantes de Ingeniería en Telecomunicaciones la presente investigación significara una profundización y desarrollo en los temas como lo es adaptación y actualización de los equipos a las necesidades de las futuras generaciones de estudiantes.

### **1.5 Alcance de la Investigación**

Con la investigación se propone el uso de un dispositivo con interfaz gráfica, el cual permita el estudio de las líneas de transmisión en el laboratorio de la asignatura Sistema de Onda Guiada de la Universidad José Antonio Páez

### **1.6 Limitaciones**

Todos los casos de estudio no poseen las mismas limitaciones, el tiempo es factor limitante al desarrollo del trabajo, puesto que este no pudo haber sido suficiente para la mayor profundización en el periodo evaluado. Así mismo, pudo haber limitaciones en cuanto a los recursos especialmente financieros para poder desarrollar un dispositivo con alta calidad, es importante destacar que, aunque se consiguió información relevante para la investigación, la misma fue limitada.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

Almudena, J (2015) realizó un trabajo titulado **“Desarrollo de un sistema de sensores para la detección de sustancias peligrosas”** para optar por el título de Ingeniero en Telecomunicaciones en la Universidad autónoma de Madrid escuela politécnica superior, Madrid (España). En este trabajo de investigación se estudia, diseña y evalúa un sistema de detección de sustancias peligrosas de bajo costo y con comunicación inalámbrica. Su desarrollo se ha basado en la plataforma de hardware libre Arduino, junto con recursos software de código abierto, lo que favorece la reducción de los costes. Inicialmente, se estudian las sustancias de riesgo que se pueden encontrar en entornos tanto laborales como domésticos, los sensores y detectores actualmente disponibles en el mercado, y las posibilidades hardware ofrecidas por Arduino, para poder tomar una decisión adecuada a los objetivos de este trabajo. Para el desarrollo de este proyecto, se han implementado tres subsistemas de detección independientes con el objetivo de medir tres parámetros diferentes y activar, en cada caso, la alarma correspondiente ante una situación de riesgo. También se crea una comunicación inalámbrica, a través de la cual una estación de control recibirá los datos medidos. Posteriormente, dichos subsistemas se han adaptado a un diseño conjunto, manteniendo la independencia de sus partes para la posible adaptación del detector a distintos parámetros de medida o para trabajar en otros entornos de operación sustituyendo los subsistemas.

La investigación citada, se vincula con la actual en función del estudio del uso del dispositivo Arduino el cual fue elegido para el desarrollo de este proyecto. La elección de los dispositivos electrónicos para el proyecto de grado es esencial y por ello es necesario considerar toda la información disponible y herramientas empleadas

Por otra parte, Gómez, M (2018) realizó un trabajo titulado **“Estudio de las líneas de transmisión para la materia Sistemas de Ondas Guiadas”** para optar por el título de Ingeniero en Telecomunicaciones en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional, Bucaramanga (Colombia). El presente trabajo de investigación describe los conocimientos en comunicaciones específicamente en la materia de Sistemas de Ondas Guiadas, en la cual se ponen a prueba y en práctica conceptos claves para la formación de Ingenieros Electrónicos e Ingenieros en Telecomunicaciones. En este trabajo de investigación se desarrollaron guías de trabajo y guías prácticas para adicionar el elemento práctico y enfatizar la parte teórica en el alumno con formación para su carrera.

El proyecto se vincula con la actual en función del estudio de las líneas de transmisión para la materia de Sistemas de Ondas Guiadas, por otra parte, describe como debe estructurarse guías prácticas y guías teóricas desde un desarrollo en diferentes etapas lo cual resulta un aporte importante para la formación del alumno como un profesional.

Por último, Salazar, F (2015), en su investigación denominada: **“Desarrollo de una aplicación para dispositivos móviles para el estudio de hábitos de vida saludable”** para optar por el título de Ingeniero Electrónico presentado en la Universidad Central de Venezuela, Venezuela. Facultad de Ingeniería. El presente trabajo explica el diseño e implementación de una aplicación para dispositivos móviles para el estudio de hábitos de vida saludable. Para este propósito, se debe obtener el valor de ritmo cardíaco y el estado de ánimo del usuario. La estimación del ritmo cardíaco se realiza mediante la señal del acelerómetro del móvil, procesándola en tiempo real y comparándola con un umbral fijo para detectar los latidos del corazón. Mientras, que el estado de ánimo se determina por un cuestionario realizado después del proceso de medición del ritmo cardíaco, obteniendo las componentes de tensión, depresión, hostilidad, vigor, y fatiga. Los datos obtenidos dentro del proceso de medición y del cuestionario son enviados a un centro de análisis para poder realizar un estudio a largo plazo. La estimación del ritmo cardíaco fue realizada con

el acelerómetro del móvil y fue comparada con las medidas de un electrocardiograma como señal de referencia y un acelerómetro externo. Los resultados muestran una buena aproximación y estar bajo la influencia de la inestabilidad de la frecuencia de muestreo del acelerómetro del móvil. Las diferencias entre las medidas del ritmo cardíaco son menores a 2 pulsaciones por minuto.

La investigación citada, se vincula con la actual en función a cómo desarrollar una interfaz gráfica, la cual a través de la interfaz se podrá observar en tiempo real la señal tomada de línea de transmisión previamente pasada por el dispositivo Arduino el cual se encarga de convertir la señal de analógica a digital.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Línea de Transmisión**

Una línea de transmisión es una estructura material de geometría uniforme utilizada para transportar eficientemente la energía de radiofrecuencia desde un punto a otro; como puede ser de un equipo de transmisión a otro, de un transmisor a la antena, entre otras aplicaciones. Un parámetro que la define comúnmente es su impedancia característica, siendo los valores más comunes 50 y 75 ohmios cuando nos referimos a un tipo particular de líneas de transmisión conocidos, en este caso, como cables coaxiales. Un ejemplo típico de 75 ohmios es el cable RG-6 el cual es usado para la acometida del servicio de televisión por cable residencial.

Ejemplos de líneas de transmisión son el cable bifilar, el cable coaxial, y líneas planares tales como la stripline, la microstrip.

#### **2.2.1.1 Análisis teórico de una línea de transmisión**

El análisis teórico de una línea se basa en la hipótesis que establece que cada segmento elemental de línea es en realidad, un dispositivo (cuadripolo) que recibe y entrega energía. (Ver figura 1).

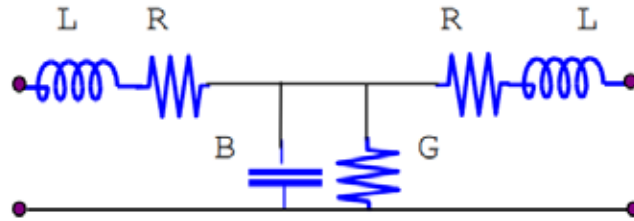
En la figura 1 representa el circuito equivalente de un trozo de longitud unitaria (1 metro) de la línea de transmisión. Los elementos pasivos mostrados representan las constantes distribuidas de la misma.

L: Inductancia por metro (provocada por el magnetismo disperso).

R: Resistencia por metro (resistencia óhmica del conductor).

B: Suceptancia por metro (debido a la capacidad entre los conductores).

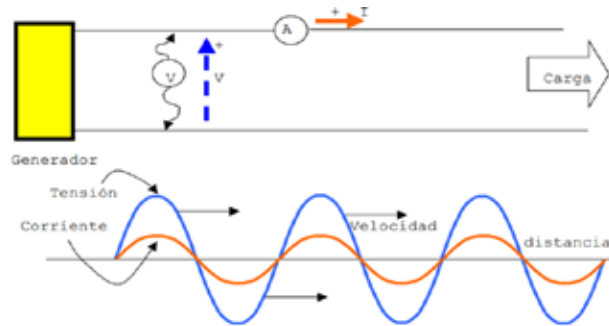
G: Conductancia por metro (causada por la conducción de electricidad a través del dieléctrico que separa los conductores-plástico, aire, etc.).



**Figura 1.** Circuito Equivalente de una línea de transmisión.

Fuente: [http://en.wikipedia.org/wiki/file:ecg\\_principle\\_fast.gif](http://en.wikipedia.org/wiki/file:ecg_principle_fast.gif)

A diferencia de los dispositivos eléctricos y electrónicos que están localizados en un solo lugar del espacio y que por ello se llaman componentes discretos (resistencias, capacitores, inductores, transistores, etc.), el circuito equivalente de una línea es un conjunto de estos cuadripolos en cascada (uno a continuación del otro). El análisis matemático del comportamiento de esta cadena de cuadripolos resulta en la conclusión que dice que por una línea de transmisión la energía viaja por medio de ondas de tensión y corriente. Habrá ondas que viajan del generador a la carga, y para sorpresa de los lectores, coexistirán con otras que viajan en sentido contrario. (ver figura 2).



**Figura 2.** Ondas de una línea de transmisión.

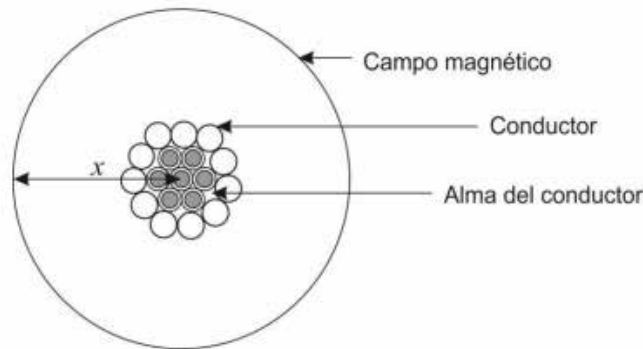
Fuente: [http://en.wikipedia.org/wiki/file:ecg\\_principle\\_fast.gif](http://en.wikipedia.org/wiki/file:ecg_principle_fast.gif)

### **2.2.1.2 Parámetros primarios de una línea de transmisión**

Se designan como parámetros primarios de la línea los siguientes:

.

flujos magnéticos que atraviesan a todo el conductor concatenando el flujo de cada uno de los hilos del conductor, a este fenómeno se le conoce como inductancia (L).



**Figura 3.** Campo magnético alrededor de un conductor.

**Fuente:** <http://en.wikipedia.org/wiki/.LineasdeTransmisionrADgif>

En un inductor, como lo es la línea de trasmisión, la inductancia producida por el flujo interno del conductor (  $f$  ) se le conoce como inductancia interna ( $L_{int}$ ), mientras que la producida por el flujo externo como inductancia externa ( $L_{ext}$ ). Considerando ambos valores se puede determinar la inductancia total del conductor, expresada en webers/ampere equivalente a un Henry (h), como se indica en la ecuación (2).

(2)

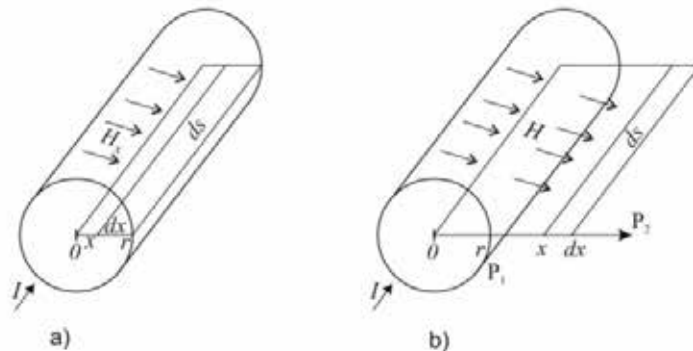
### **Inductancia interna de un conductor**

La inductancia interna se debe a los enlaces de flujo que existen dentro del conductor originados por una misma corriente. La inductancia según sus enlaces de flujos concatenados (  $l$  ) en Webers-vuelta (Wbv) se expresa como:

$$\underline{l}$$

Por otro lado, la inductancia puede calcularse según su flujo interno considerando que cada línea del flujo enlaza una fracción de la corriente total, pero para una línea de transmisión es necesario considerar el flujo dentro y fuera del

conductor. En la figura 4 se muestran los campos magnéticos originados por la corriente  $I$  que circula por el conductor.



**Figura 4.** Campo magnético en un conductor. a) Campo magnético interno y b) Campo magnético externo.

**Fuente:** <http://en.wikipedia.org/wiki/.LineasdeTransmisionrADgif>

La inductancia de la línea de transmisión se forma a partir de efectos de origen magnéticos producidos por la corriente que pasa a través del conductor, originando líneas de  $f$  que se proyectan sobre la superficie con una intensidad de campo magnético ( $H$ ), y con un cierto número de líneas de fuerza repartidos en el espacio de campo magnético, conocido como fuerza magnetomotriz (fmm). Aplicando la ley de ampere se puede determinar la fmm, que “es igual a la integral de la línea alrededor de la trayectoria cerrada de la componente de la intensidad de campo magnético que es tangente a la trayectoria”.

### **Inductancia externa de un conductor**

Para determinar la inductancia externa del conductor se considera que por lo que la fmm que rodea la totalidad de la corriente  $I$  es:

$$(3)$$

- **Capacitancia**

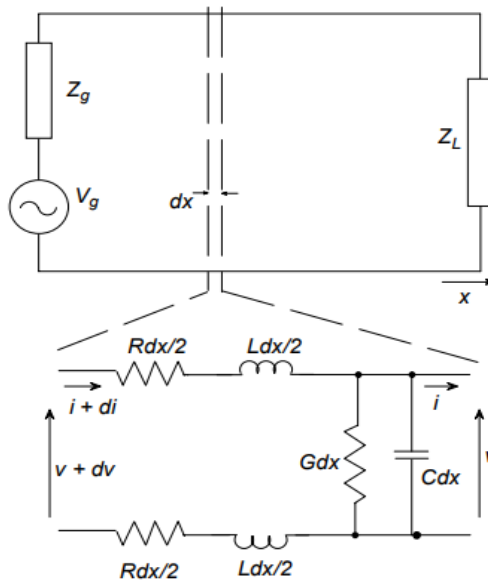
La capacitancia ( $C$ ) es el cociente entre la carga existente  $Q$  en el conductor y la diferencia de tensión , de tal forma la capacitancia se expresa como:

(4)

Donde  $Q$  está en coulomb por metro,  $V$  en volts y  $C$  en Faradios metro. La capacitancia entre dos conductores se debe a la caída de tensión de cada conductor, por lo tanto la caída de tensión entre conductores es debida a cada una de sus cargas.

### 2.2.2 Ecuaciones de una línea de transmisión

Supóngase un elemento infinitesimal de una línea abierta de dos conductores paralelos, con parámetros primarios  $R$ ,  $L$ ,  $C$  y  $G$ , que puede suponerse tan pequeño como se quiera de modo que los parámetros del circuito puedan considerarse concentrados en la forma que se muestra en la figura 5.



**Figura 5.** Elemento infinitesimal de una línea de transmisión.

**Fuente:** <http://en.wikipedia.org/wiki/LineasdeTransmisionrADgif>

El valor total de la resistencia en este elemento infinitesimal es  $Rdx$  ya que la resistencia por unidad de longitud  $R$  está distribuida uniformemente a lo largo de las dos ramas del elemento infinitesimal de longitud total  $dx$ . El hecho de considerarla dividida en dos ramas o concentrarla en una sola es arbitrario y lo mismo ocurre con

la inductancia. La capacidad y la conductancia en paralelo están, respectivamente, concentradas en un solo elemento. El voltaje y la corriente a la entrada del elemento infinitesimal son  $v + dv$  e  $i + di$ , respectivamente y a la salida,  $v$  e  $i$ . La caída de voltaje a lo largo de  $dx$  es  $dv$  y la corriente  $di$  circula a través de la conductancia y la capacidad. Suponiendo variaciones senoidales para el voltaje y la corriente y empleando notación fasorial, pueden aplicarse las leyes de Kirchoff al circuito anterior, ahora de parámetros concentrados, con lo que se tiene:

$$(5)$$

$$(6)$$

$$- \quad (7)$$

$$- \quad (8)$$

ión por unidad de longitud.

$$- \quad (9)$$

$$- \quad (10)$$

Y, la solución general de las ecuaciones (9) y (10) puede expresarse como:

$$(11)$$

$$(12)$$

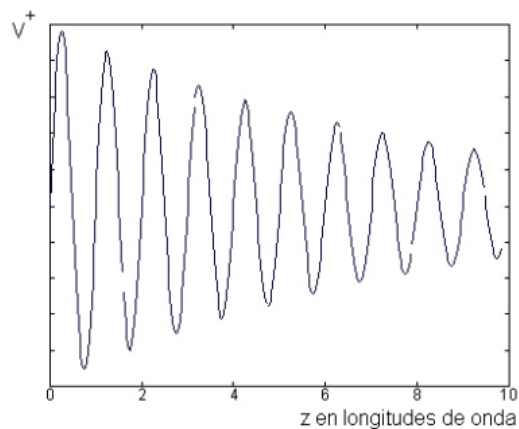
Donde se define como constante de propagación de la línea que, como se ve de (13), es compleja y puede escribirse como:

$$(13)$$

de fase en rad/m. Las ecuaciones (11) y (12) son las soluciones de la ecuación de onda para el voltaje y la corriente en la línea y conviene analizar su significado, utilizando para ello la ecuación (13), siendo la argumentación igualmente válida para la (13).

Un análisis similar puede hacerse para la corriente, obteniéndose una ecuación de onda para la corriente, formalmente igual a (11). El primer término de la derecha representa un voltaje de amplitud  $V^+$  en el extremo del generador, que decrece

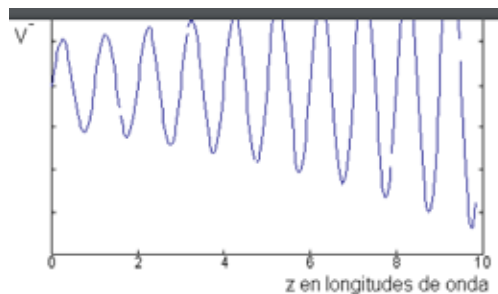
Esta componente de la onda, que viaja del generador hacia la carga se designa como onda incidente.



**Figura 6.** Onda incidente vista desde el generador.

**Fuente:** <http://en.wikipedia.org/wiki/.LineasdeTransmisionrADgif>

El segundo término de la derecha representa una onda de voltaje que viaja en dirección opuesta a la onda incidente, cuya amplitud en el extremo del generador es  $V^-$ , como se muestra en la figura 7. Se trata de una onda reflejada por la carga.



**Figura 7.** Onda reflejada por la carga, vista desde el generador.

**Fuente:** <http://en.wikipedia.org/wiki/.LineasdeTransmisionrADgif>

Es importante notar que las gráficas anteriores no están trazadas respecto al tiempo, sino a la distancia desde el generador, designada aquí como  $x$ , representan la distribución del voltaje a lo largo de la línea, para la onda incidente en el primer caso, y para la reflejada en el segundo. De hecho, la distribución del voltaje en la línea está dada por la suma de las ondas incidente y reflejada como indica la ecuación (11), lo que da lugar a una onda estacionaria a lo largo de la línea. Este proceso es análogo al que ocurre cuando una onda electromagnética no confinada, que viaja en un medio de impedancia característica  $Z_1$ , incide sobre la frontera de un segundo medio de impedancia diferente,  $Z_2$ .

Una parte de la energía de la onda incidente se transmite hacia el segundo medio y otra se refleja hacia el primero. En el caso de la línea de transmisión, el primer medio sería la propia línea y el segundo la impedancia de carga. Si la impedancia de carga es igual al complejo conjugado de la impedancia característica de la línea, toda la energía es absorbida en la carga, en caso contrario, una parte de la energía incidente vuelve al generador.

### **2.2.3 Tipos de líneas de transmisión**

En el mercado se encuentra una sorprendente variedad de líneas de transmisión dictada por las múltiples aplicaciones. Una consulta a cualquier catálogo resulta de lo más ilustrativa, además de proporcionar información de considerable interés y utilidad. Las líneas pueden ser rígidas o flexibles, con dieléctrico de aire o dieléctricos sólidos, de perfil liso o corrugado. Dependiendo de la potencia que deben manejar, se encuentran líneas de diámetros que van desde unos cuantos mm hasta más de 15 cm. Las líneas flexibles o semiflexibles son atractivas en el sentido de que pueden doblarse, dentro de ciertos límites, para adaptarse a la forma de las estructuras de soporte. Por otra parte, las líneas rígidas pueden soportar potencias muy grandes y emplean el aire como dieléctrico, lo que redundaría en pérdidas menores que en las líneas con dieléctrico sólido. En cualquier caso, tanto unas como otras tienen ventajas y desventajas como se verá más adelante.

### 2.2.3.1 Líneas Rígidas

Las líneas rígidas con dieléctrico de aire consisten de un conductor interior y otro exterior, concéntrico, con separadores de dieléctrico de baja pérdida, como teflón u otros similares, espaciados uniformemente para mantener rígidamente la separación entre los conductores, como se ilustra en la figura 8. El conductor exterior de las líneas rígidas suele estar desnudo, si bien en algunas puede estar recubierto de material plástico para evitar la posibilidad de corrosión.

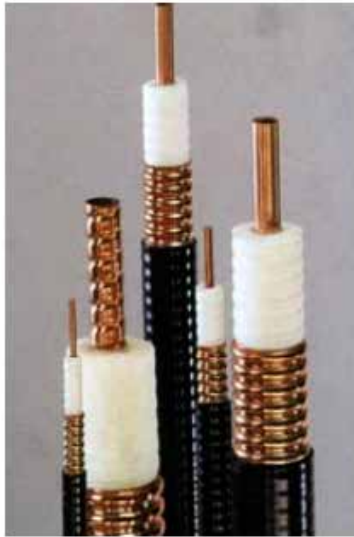


**Figura 8.** Línea Rígida

Fuente: <http://www.equitek.com.mx/f/ERM-Enroscados-Tapa-Manual.jpg>

### 2.2.3.2 Líneas Flexibles

Las líneas o cables coaxiales flexibles o semiflexibles se utilizan extensamente en todos los sistemas de comunicaciones de potencias medias y altas. Pueden ser de dieléctrico de aire o sólido y tanto el conductor interior como el exterior están corrugados y suelen estar recubiertas de hule o plástico para evitar la corrosión. Tienen la ventaja de poderse transportar en carretes, con más facilidad que las líneas rígidas y su montaje, al ser de una sola pieza, resulta relativamente más fácil que el de éstas. En la figura 9 se ilustra este tipo de líneas.



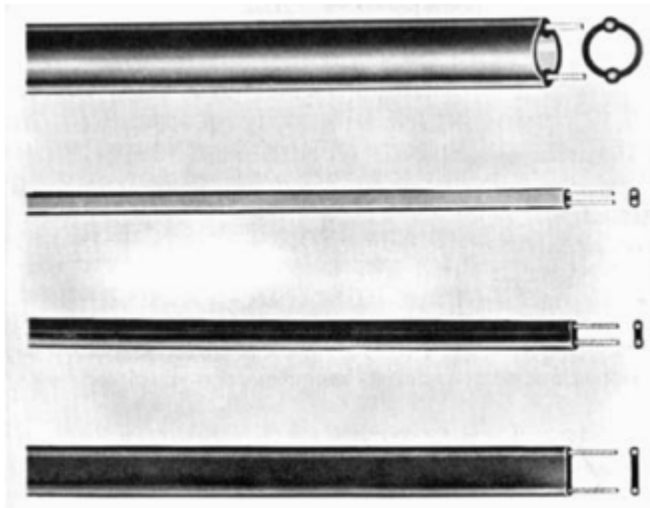
**Figura 9. Líneas Flexibles**

Fuente: <http://www.equitek.com.mx/f/ERM-Enroscados-Tapa-Manual.jpg>

### **2.2.3.3 Líneas Balanceadas.**

Se designa como línea balanceada aquella en que los voltajes de los conductores son simétricos respecto a tierra., por ejemplo, las líneas de pares, de dos a cuatro conductores. Entre estas se encuentran las antiguas líneas telefónicas y telegráficas soportadas por postes, las líneas de pares utilizadas en cables telefónicos y otros tipos de líneas como se muestran en la figura 10, utilizadas en aplicaciones de audio, televisión y otros sistemas electrónicos y de comunicaciones.

Las líneas balanceadas, de dos conductores paralelos se emplean en sistemas de comunicaciones para conectar antenas en que se requieren características balanceadas, por ejemplo, dipolos abiertos o doblados, antenas rómbicas, etc. Estas líneas pueden tener dieléctrico de aire, como en el caso de líneas telefónicas montadas en postes o emplear dieléctricos sólidos, generalmente de plástico como las mostradas en la figura 5. Algunas de las líneas de microcinta, construidas en circuitos impresos, pueden ser también del tipo no balanceado.



**Figura 10. Líneas Balanceadas.**

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1335/1/108T0005.pdf>

#### **2.2.3.4 Líneas no Balanceadas**

En este tipo de líneas, uno de los conductores suele estar conectado a tierra y el ejemplo más abundante es la línea o cable coaxial, utilizada extensamente en los sistemas de comunicaciones y que se ilustra en la figura 11.



**Figura 11. Líneas no balanceadas.**

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1335/1/108T0005.pdf>.Pag 102

#### **2.2.4 Características de las líneas de transmisión**

En la siguiente tabla se encuentra una tabla de características para distintos tipos de cables de transmisión, en nuestro caso específicamente cables coaxiales.

**Tabla 1.** Característica de los cables coaxiales

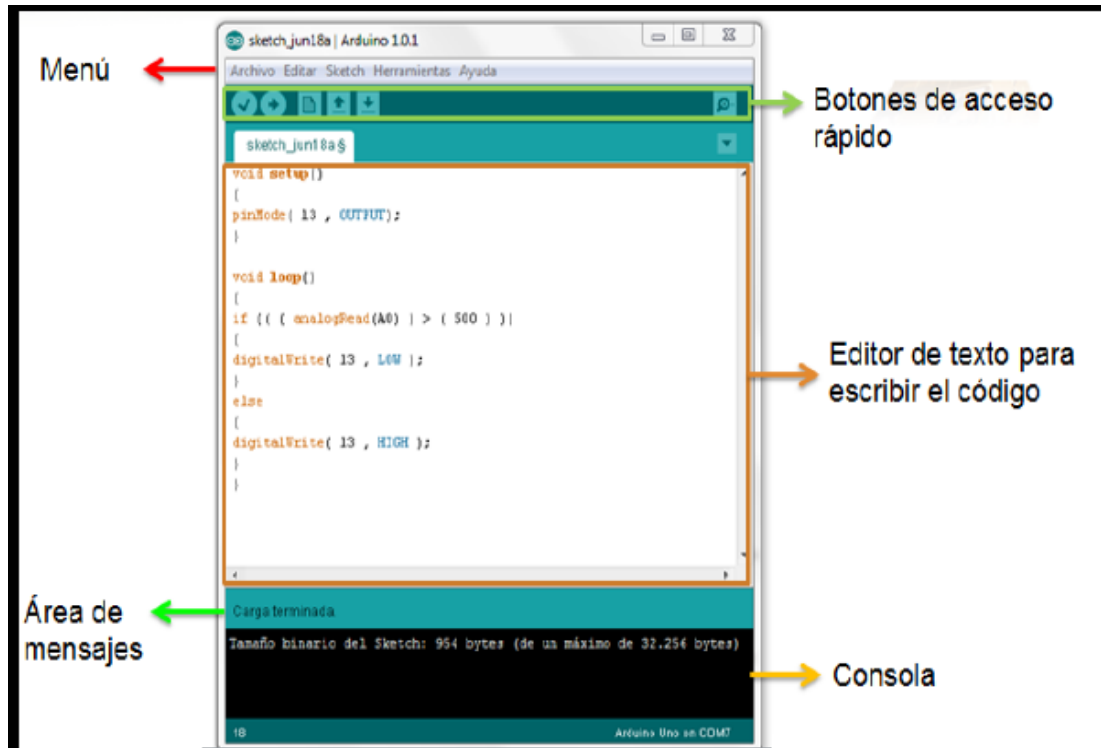
Coaxial	Ohm	Factor Veloc	Aislamiento Dieléct	Tensión Max RMS	pF por metro	Atenuación en decibelios por cada 100 mtrs.					
						10 Mhz	50 Mhz	100 Mhz	200 Mhz	400 Mhz	1 Ghz
RG-5	50	0,66	Esp PE	-----	93,50	2,72	6,23	8,85	13,50	19,40	32,15
RG-6	75	0,66	Esp PE	-----	61,60	2,72	6,23	8,85	13,50	19,40	32,15
RG-12	75	0,66	PE	4.000	67	2,18	5,25	7,55	10,80	15,80	25,60
RG-58	50	0,66	PE	1,900	93	4,60	10,80	16,6	24,30	39,40	78,70
RG-59	73	0,66	PE	600	93	3,60	7,85	11,2	16,10	24,30	39,40
RG-74	52	0,66	----	-----	98	1,35	3,28	4,59	6,56	10,70	18,00

Fuente: Monroy (2019).

### 2.2.5 Plataforma de desarrollo Arduino

Es una plataforma electrónica para prototipos de código abierto, está diseñada para hacer el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios accesible fácilmente. El hardware consiste en un diseño simple para la tarjeta Arduino, con un procesador Atmel AVR y soporte de entradas y salidas de la tarjeta. El software consiste en un lenguaje de programación estándar y un bootloader que se ejecuta en la tarjeta. El hardware es programado empleando un lenguaje basado en cableado (sintaxis + librerías), muy similar a C++ con algunas simplificaciones y modificaciones, y un entorno de desarrollo integrado basado en Processing (IDE).

El Arduino es básicamente una placa con un microcontrolador. Un microcontrolador (abreviado  $\mu$ C, UC o MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.









**Figura 12.** Plataforma de desarrollo Arduino

Fuente: Desarrollo de un dispositivo Arduino, Página

Para empezar a programar la placa del Arduino UNO es necesario descargarse el programa de la página web de Arduino el entorno de desarrollo IDE. Se dispone de versiones para Windows y para MAC, en la Figura 12 se muestra el aspecto del entorno de programación, el cual está constituido por un editor de texto para escribir el código, una consola de texto, un área de mensajes, una barra de herramientas con botones para las funciones más comunes, y una serie de menús. Permite la conexión con el hardware de Arduino para cargar los programas y comunicarse con ellos.

Cuando se programa en el entorno de Arduino existe la posibilidad de buscar, reemplazar, cortar y pegar texto lo que facilita la programación. En el área de mensajes se puede observar la información mientras se ejecutan los programas y también muestra los errores de los programas. La barra de herramientas permite verificar el proceso de carga de la tarjeta Arduino, guardado de programas, y la monitorización serie, en la Tabla 1 se puede observar cada función que cumplen sus herramientas.

**Tabla 2.** Especificaciones técnicas del software Arduino

Herramientas	Función
	Verificar Chequea el código en busca de errores.
	Cargar Compila el código y lo graba en la placa E/S de Arduino.
	Nuevo Crea un nuevo sketch
	Abrir Presenta un menú de todos los programas sketch de su “sketchbook”, (librería de sketch). Un click sobre uno de ellos lo abrirá en la ventana actual
	Guardar Guarda el programa Sketch
	Monitor Serial Inicia la monitorización serie

Fuente: Desarrollo de un dispositivo Arduino, Página 5

### 2.2.6 Interfaz gráfica LABVIEW

LABVIEW es un lenguaje de programación de alto nivel, de tipo gráfico, y enfocado al uso en instrumentación. Pero como lenguaje de programación, debido a que cuenta con todas las estructuras, puede ser usado para elaborar cualquier algoritmo que se desee, en cualquier aplicación, como en análisis, control, juegos, manejo de textos, etc.

Cada programa realizado en LABVIEW es llamado Instrumento Virtual (VI), el cual como cualquier otro ocupa espacio en la memoria del computador, por tanto requiere un hardware adecuado para manejo de gráficos.

La memoria usada la utiliza para cuatro bloques diferentes como son:

- **Panel frontal:** donde se ven los datos, se los manipula y controla.
- **Diagrama de bloques:** en este se aprecia la estructura del programa, su función y algoritmo, de una forma gráfica en lenguaje G, donde los datos fluyen a través de líneas.
- **Programa compilado:** cuando se escribe en LABVIEW, el algoritmo implementado en forma gráfica no es ejecutable por el computador, por tanto, LABVIEW requiere elaborar un código assembler, con base en el código fuente de tipo gráfico.
- **Datos:** como el algoritmo maneja datos, requiere de un espacio de memoria para estos, lo que hace tomar en cuenta que el computador usado debe tener la memoria suficiente para manejarlos. Por ejemplo, como ya se vio en el capítulo anterior, el computador recibe 900 datos de 8 bits en segundo, los que deben ser transformados en 300 datos de 10 bits cada segundo, filtrados y presentados, previo a recibir un nuevo paquete de datos.

### 2.3 Definición de términos básicos

**Arduino:** compañía de fuente abierta y hardware abierto, así como un proyecto y comunidad internacional que diseña placas de desarrollo de hardware.

**Android:** sistema operativo móvil desarrollado por Google.

**Líneas de transmisión:** propagación energética en modo TEM, es necesario que existan al menos dos conductores eléctricos y un medio dieléctrico entre ambos (que puede incluso ser aire o vacío).

**Telecomunicaciones:** sistema de comunicación a distancia que se realiza por medios eléctricos o electromagnéticos.

**Proceso:** Conjunto de fases sucesivas de un fenómeno o hecho complejo.

**Sistema:** Conjunto de reglas, principios o medidas que tienen relación entre sí.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo de investigación**

La naturaleza propia del proyecto, hace que la investigación entre en la clasificación de proyecto factible, puesto que se desarrollará un plan de trabajo para el diseño de un dispositivo con interfaz gráfica para el estudio de líneas de transmisión con fin de solventar y adicionar el elemento práctico en la materia Sistemas de Ondas Guiadas. Basado en lo anteriormente descrito Mijares y García (2007) definen como proyecto factible a:

“... la investigación elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organización o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas tecnologías, métodos o procesos. El proyecto factible debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades...” (p5).

#### **3.2 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es el conjunto de directrices que toma el investigador con el fin de observar, analizar y plantear una solución de ser posible a la problemática objeto de la investigación. Según Palella y Martins (2012) definen como investigación de campo a:

“La Investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta...” (pag.88).

#### **3.3 Nivel de la investigación**

El nivel de investigación se refiere según Arias:(2012) “al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno” (p.47). Así pues, el nivel de investigación establece hasta qué punto se llevará a cabo el estudio del tema o

problema planteado. Tomando en cuenta el tipo de investigación, se conocerá el nivel en el cual se basa todo el estudio. También el nivel permite saber qué factores tienen que intervenir para el desarrollo de toda la investigación.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, el nivel de investigación que se emplea es descriptiva definido por Hurtado de B. (2010), como:

“Los estudios descriptivos miden de forma independiente las variables, y aun cuando no se formulen hipótesis, las primeras aparecerán enunciadas en los objetivos de investigación” (p.223).

Lo mencionado por Hurtado, se aplica a todas las investigaciones que conllevan a diseños dirigidos a cubrir necesidades y que están basados en conocimientos anteriores.

### **3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos**

Los instrumentos de investigación son parte fundamental de la misma ya que son los medios por los cuales el investigador puede recolectar datos sobre la problemática en la que está trabajando, teniendo esto en cuenta Sabino (1992) lo define como:

“Un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo el instrumento sintetiza en sí toda la labor previa de la investigación, resume los aportes del marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto, a las variables o conceptos utilizados” (p.149, 150).

Y por técnica se va a anotar la definición que nos da el diccionario de metodología anteriormente citado, el cual establece que las técnicas de investigación son: “Conjunto de mecanismos, medios y sistemas de dirigir, recolectar, conservar, reelaborar y transmitir los datos sobre estos conceptos” (p.150).

#### **3.4.1. Técnicas empleadas**

- **Revisión Documental**

La revisión documental es hacer una recopilación de información sobre textos e investigaciones generados por otros investigadores que tienen relación directa o

indirecta con la problemática que es razón de estudio. Hurtado (2010) define este concepto como:

“... es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros como texto en sí mismo constituyen los eventos de estudio” (p.427).

- **Observación directa**

La observación directa es el proceso en el cual el investigador recolecta datos directamente desde el medio ambiente del fenómeno a estudiar, por otro lado, Hurtado (2010) la define como: "... un proceso de atención, recopilación, selección y registro de información para el cual el investigador se apoya en sus sentidos” (p.459).

### **3.4.2. Instrumentos empleados**

- **Instrumento de registro**

Permite poseer un soporte de la información en periodos de tiempo relativamente largos de modo que el investigador pueda recuperar la información cuando lo necesite.

- **Instrumento de observación técnicamente asistida**

Principalmente se contará con el empleo de algún dispositivo de medición, en nuestro caso el uso de un Arduino el cual se encargará de medir las variables físicas de interés presentes en la realización de todas las experiencias que tenga el investigador con el fenómeno a estudiar.

### **3.5 Fases de la Investigación**

#### **Fase I: Estudio del funcionamiento de los Reflectómetros.**

Se realizará el estudio de cómo funcionan un reflectómetro. Para ello primeramente se precisa recurrir a una profunda y asertiva revisión bibliográfica.

#### **Fase II: Determinación de la arquitectura del Hardware y Software del dispositivo de ondas guiadas.**

Se procederá a realizar el estudio del circuito electrónico que conforma la etapa analógica del dispositivo, también se estudiar la utilización de la plataforma arduino como parte del diseño y por consiguiente y se procederá a establecer la arquitectura del hardware del dispositivo.

**Fase III: Diseño de la interfaz gráfica para el estudio de las líneas de transmisión de ondas guiadas.**

Siguiendo el estudio anteriormente se procederá a realizar una interfaz gráfica el cual permita observar las señales en tiempo real, mediante el cual se implementará una interfaz gráfica.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 Fase I: Estudiar el funcionamiento de los Reflectómetros.**

El reflectómetro de dominio del tiempo (TDR) es un instrumento electrónico usado para caracterizar y localizar los defectos en cables metálicos (por ejemplo, los pares trenzados de alambre, cables coaxiales).

Estos equipos son imprescindibles para la conservación y mantenimiento de líneas de telecomunicación. Con ellos se pueden detectar aumentos de los niveles de la resistencia en empalmes y conectores que se corroen, y disminución de aislamiento por degradación y absorción de la humedad, etc. Los TDR son instrumentos también muy útiles para medidas de mantenimiento, donde ayudan a determinar la existencia y la ubicación de empalmes de cable. Las aplicaciones nuevas de TDR incluyen aislar los puntos de fallo.

##### **4.1.1 Principio de funcionamiento del Reflectómetro.**

Un TDR emite un pulso muy corto en el tiempo. Si el conductor es de una impedancia uniforme y está apropiadamente terminado, el pulso transmitido se absorberá en la terminación final y no se reflejará ninguna señal de vuelta hacia el TDR. En cambio, si existen discontinuidades de impedancia, cada discontinuidad creará un eco que se reflejará hacia el TDR. Los aumentos en la impedancia crean un eco que refuerza el pulso original, mientras que las disminuciones en la impedancia crean un eco que se opone al pulso original. El resultado del pulso medido en la salida-entrada al TDR se representa o muestra como una función del tiempo y, dado que la velocidad de la propagación de la señal es relativamente constante para una impedancia dada, puede ser leído como una función de la longitud de cable. Esto es semejante en su funcionamiento al del radar.

A causa de esta sensibilidad a las variaciones en la impedancia, un TDR puede utilizarse para verificar las características de impedancia, las ubicaciones de empalmes y conectores, y las pérdidas asociadas en un cable, estimando tanto la longitud del mismo, como cada discontinuidad del cable que será detectada como una señal en forma de eco.

La TDR usa la bien demostrada teoría de que los defectos en las líneas de transmisión, como cortos o aberturas, hacen que una parte de la señal incidente regrese a la fuente. La cantidad de retorno de la señal transmitida depende de la clase y la magnitud del defecto. El punto en la línea donde está el defecto representa una discontinuidad para la señal. Esa discontinuidad hace que una parte de la señal transmitida se refleje, en vez de continuar por el cable. Si no regresa energía alguna, es decir, si la línea de transmisión y la carga están perfectamente balanceadas, la línea tiene longitud infinita o termina en una carga resistiva con impedancia igual a la impedancia característica de la línea. La TDR funciona en forma similar al radar. Un pulso de corta duración con corto tiempo de subida se propaga por un cable; a continuación se mide el tiempo en que regresa una parte de la señal a la fuente. Esta señal de regreso se llama eco, a veces. Al conocer la velocidad de propagación por el cable, se puede calcular la distancia exacta entre el defecto y la fuente, con la siguiente ecuación:

—

Siendo d: Distancia a la discontinuidad (metros).

v: Velocidad real (metros por segundo).

v:  $k \cdot c$  (metros por segundo).

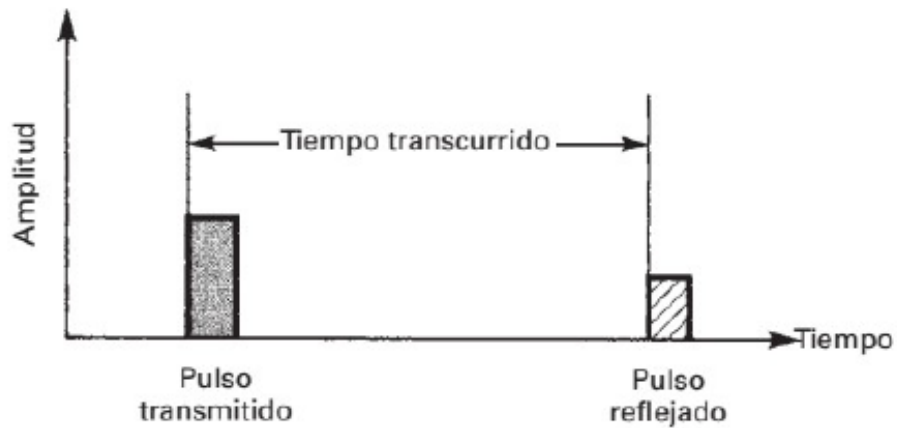
k: factor de velocidad ( $v/c$ ) (adimensional).

c: velocidad de la luz en el vacío ( $3 \cdot 10^8$  metros por segundo).

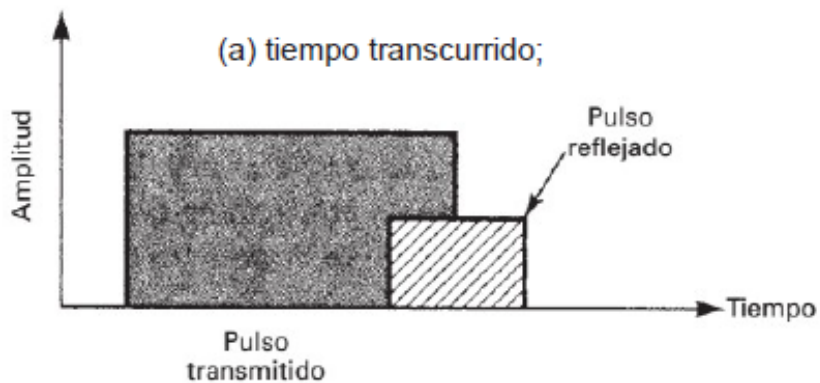
t: tiempo transcurrido (segundos).

El tiempo transcurrido se mide desde la parte delantera del pulso transmitido hasta la recepción de la señal reflejada, como se indica en la figura 13. Es importante

que el pulso transmitido sea tan corto como sea posible. De no ser así, cuando el defecto está cerca de la fuente, la señal reflejada podría regresar mientras todavía se estuviera transmitiendo el pulso (figura 14), dificultando la detección. Para las señales que viajan a la velocidad de la luz ( $c$ ), la velocidad de propagación es  $3 \times 10^8$  [m/s], que aproximadamente es 1 ns/pie. En consecuencia, un pulso de varios microsegundos de ancho limitaría la utilidad de la TDR solo para defectos de cable que estuvieran a varios miles de pies o más de distancia. La producción de pulsos extremadamente angostos fue uno de los factores limitantes en el desarrollo de la TDR para localizar fallas o cortos en cables.



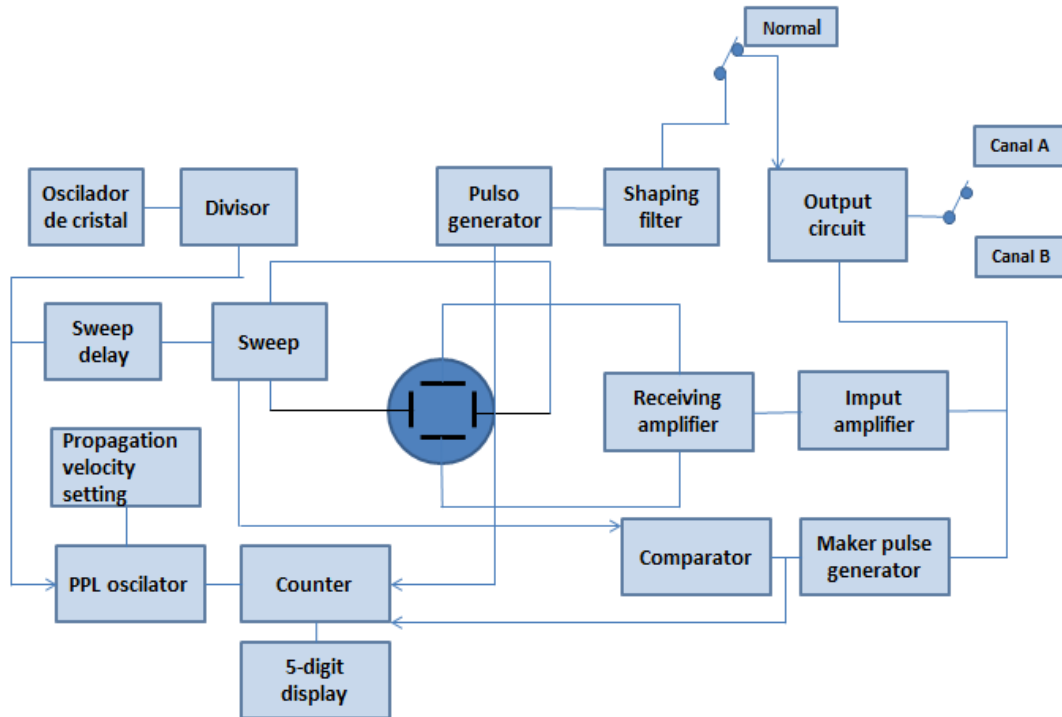
**Figura 13. Pulso transmitido de un TDR**  
Fuente: Reflectómetro TDR, Página 5



**Figura 14. Pulso reflejado de un TDR.**  
Fuente: Reflectómetro TDR, Página 5

#### 4.1.2 Funcionamiento y esquema del Reflectómetro.

En la siguiente figura se puede observar el diagrama de bloques del reflectómetro.



**Figura 15.** Diagrama de bloques del Reflectómetro

Fuente: Reflectómetro TDR, Página 9

El oscilador de onda cuadrada controlado por cristal genera ondas cuadradas de 6,4MHz y lo suministra al generador de pulso y al circuito de retraso de barrido a través del divisor.

El generador de pulso y el filtro modelador de onda generan ondas de forma sinusoidal- nistra al circuito de salida. El circuito de salida contiene un circuito híbrido. Un extremo del circuito de salida corresponde a las terminales de medición CH A y CH B y el otro extremo se conecta a la red de balance.

La red de balance minimiza las reflexiones indeseadas acoplando el localizador de fallas a la característica de la impedancia – frecuencia del cable conectado a las terminales de medición. Cuando la red de balance incorporada no puede cubrir la característica de impedancia – frecuencia del cable a ser medido, las reflexiones indeseadas son eliminadas acoplando el localizador de fallas a la característica de frecuencia, conectando el par de cable bueno a ser medido a la Terminal EXT BALANCE.

La posición de las fallas de comunicación cruzada puede medirse conectando la salida del filtro modelador a la terminal de salida (OUTPUT) en lugar del circuito híbrido mediante el interruptor NORMAL/CROSSTALK.

El circuito de retraso determina la posición medida en dirección longitudinal del cable. El circuito de barrido modela el producto del circuito de retraso en una onda de barrido de diente de sierra en el CRT y lo aplica al CRT.

La salida del divisor suministra al oscilador PLL.

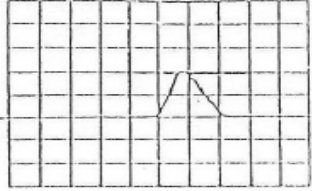
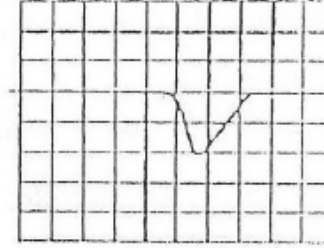
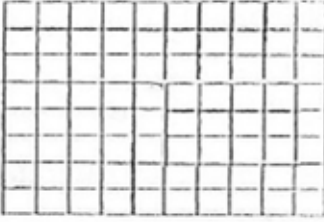
El oscilador PLL produce señales estables de 7 MHz a 14,95 MHz en 0,05 MHz correspondientes al set de la llave de velocidad de propagación. La señal de salida del oscilador PLL ingresa al contador. La señal de salida del oscilador PLL ingresa al comparador y es comparada con el voltaje del marcador. Lo resultante constituye las señales de conteo final del generador de pulso, del marcador y del contador.

El pulso de salida del generador de pulso es la señal de inicio del contador. El contador cuenta el número de pulso de envío hasta el marcador y muestra el número de pulsos en una pantalla digital de cinco dígitos.

Las señales provenientes del cable conectado a la terminal CH A y CH B (forma de onda de reflexión proveniente de la falla en la medición NORMAL y de la señal inducida en el circuito inducido proveniente del circuito de inducción en el punto de la comunicación cruzada en la medición CROSSTALK) aparecen en el punto neutro del circuito híbrido del circuito de salida. Los amplificadores de entrada y de recepción amplifican esta señal, juntamente con la señal de pulso del marcador, y lo

aplica al CRT. El contenido y localización de la falla puede hallarse observando la forma de onda en el CRT. La distancia al flanco ascendente o descendente de esta forma de onda puede leerse directamente de la pantalla digital de cinco dígitos haciendo set el marcador de flanco ascendente o descendente de esta forma de onda.

#### 4.1.3 Interpretación del pulso reflejado del Reflectómetro.

Tipo de falla	Explicación	Pulso Reflejado
<b>Abierto</b>	La forma de onda aparece hacia arriba de la línea de base. Esta forma de onda aparece también cuando el terminal de línea está abierto.	
<b>Corto circuito</b>	La forma de onda aparece hacia debajo de la línea de base	
<b>Acoplamiento</b>	No existe una forma de onda reflejada. Por estar acoplado la carga con el cable.	

#### 4.2 Fase II: Determinar la arquitectura del Hardware y Software del dispositivo aplicado al estudio de las líneas de transmisión de ondas guiadas.

En esta fase del trabajo de grado se procederá a seleccionar los componentes y realizar el diseño de un dispositivo aplicado al estudio de las líneas de transmisión de ondas guiadas. El cual poseerá las características mínimas y necesarias para que la lectura y procesamiento de la señal, se logre de manera satisfactoria. Para esta

elección se han tenido en cuenta el cumplimiento de las especificaciones, además de otros factores como el tamaño y precio.

#### 4.2.1 Selección de los componentes para la arquitectura del Hardware

##### 4.2.1.1 Arduino

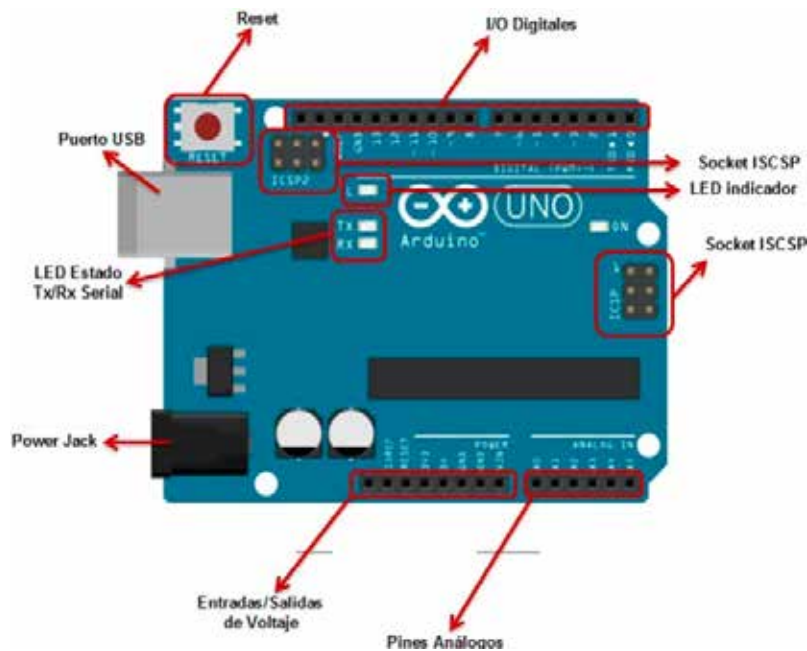
Para realizar el proceso de comunicación, recopilación de datos y posible visualización, se utiliza una plataforma de desarrollo digital que permita realizar estas tareas. La plataforma de desarrollo elegida para este proyecto es Arduino, debido a su bajo costo y la existencia de una gran comunidad, desarrollando numerosos proyectos de distintos ámbitos, incluyendo el sanitario. Esta última característica es muy importante pues existen una gran variedad de proyectos realizados por diversos desarrolladores de los que se puede extraer bastante información específica sobre diversos aspectos.

Esta plataforma de hardware de código abierto, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales, cuenta con un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación Processing (Hodges et al., 2012). Se trata de un dispositivo que conecta el entorno analógico con el digital. Arduino se basa en un microcontrolador Atmel AVR de 8 bits, existiendo de diferentes tipos dependiendo del modelo de placa que se adquiera. En el presente proyecto, se emplea la versión Arduino UNO, con un microcontrolador ATmega328.

**Tabla 3.** Especificaciones técnicas de la placa Arduino UNO

<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>
<b>Microcontrolador</b>	ATmega328
<b>Voltaje Operativo</b>	5V
<b>Tensión de entrada (recomendada)</b>	7-12V
<b>Tensión de entrada (límites)</b>	6-20V
<b>Pines de E/S digitales</b>	14
<b>Pines de entrada analógica</b>	6
<b>SRAM</b>	2KB
<b>Memoria Flash</b>	32KB
<b>EEPROM</b>	1KB
<b>Frecuencia reloj</b>	16MHz

Como se puede observar en la tabla 3, la tensión de funcionamiento de este dispositivo es de 5V, alimentado por una fuente externa de entre 6 y 20 V o vía USB. El problema de la alimentación de este dispositivo es que si se alimenta por debajo de los 7V se puede tener una tensión inestable en los pines de salida de la placa. Otro de los principales motivos por el que se ha elegido la plataforma de desarrollo de Arduino para este proyecto es el precio. Mientras que otras plataformas de desarrollo ofrecen poca variedad de artículos con diferentes características, Arduino presenta una gran variedad de placas con distintas funcionalidades. Existen algunas con posibilidad de módulo de conexión WIFI ya incorporado, aunque siempre se puede conectar uno externo, otras con mayor velocidad de procesamiento de datos y otras con menos, y muchas otras funciones.



**Figura 16.**Placa Arduino UNO

Fuente:[https://www.arduino.cc/en/uploads/Products/Uno\\_Orig.jpg](https://www.arduino.cc/en/uploads/Products/Uno_Orig.jpg)

#### 4.2.1.2 Splitter BNC

Un Splitter es un dispositivo electrónico de interconexión empleado para separar en varios canales idénticos la señal de una sola fuente, manteniendo la calidad

de señal original en todo caso. Una solución eficaz cuando se trata de distribuir una sola señal de video desde un reproductor hasta varios interfaces del tipo pantallas por ejemplo.



**Figura 17. Splitter BNC**

Fuente:<https://pepegreen.com/splitter-que-es/>

#### 4.2.1.3 Generador de Señales

Un generador de señales, de funciones o de formas de onda es un dispositivo electrónico de laboratorio que genera patrones de señales periódicas o no periódicas tanto analógicas como digitales. Se emplea normalmente en el diseño, prueba y reparación de dispositivos electrónicos; aunque también puede tener usos artísticos. Hay diferentes tipos de generadores de señales según el propósito y aplicación que corresponderá con el precio. Tradicionalmente los generadores de señales eran dispositivos estáticos apenas configurables, pero actualmente permiten la conexión y control desde un PC. Con lo que pueden ser controlados mediante software hecho a medida según la aplicación, aumentando la flexibilidad.



**Figura 18. Generador de Señales**

Fuente:<https://Generador.Señales.om/splitter-que-es/>

## **4.2.2 Selección de los componentes del Software para el estudio de las líneas de transmisión.**

### **4.2.1 Software de Programación LABVIEW**

Para realizar el almacenamiento de la señal, adquisición de datos, análisis de mediciones y presentación de datos, se seleccionó el software de programación LABVIEW, que por sus siglas especifica Laboratory Virtual InstrumentEngineeringWorkbench. El cual este es un entorno de programación gráfico, que posee funciones integradas para efectuar control de instrumentos. Este software de programación nos permite directamente obtener la señal biomédica por medio del Arduino y de esta manera realizar un análisis y procesamiento de la misma. Por otro lado, nos permite realizar la interfaz usuaria donde es posible la visualización de datos y visualización de la señal biomédica en tiempo real.

Para el proyecto se escogió específicamente este software de programación ya que posee las siguientes características que se detallan a continuación:

- Análisis y procesamiento de datos.
- Interfaz de usuario.
- Visualización de datos.
- Almacenamiento de datos.
- Reporte de datos.

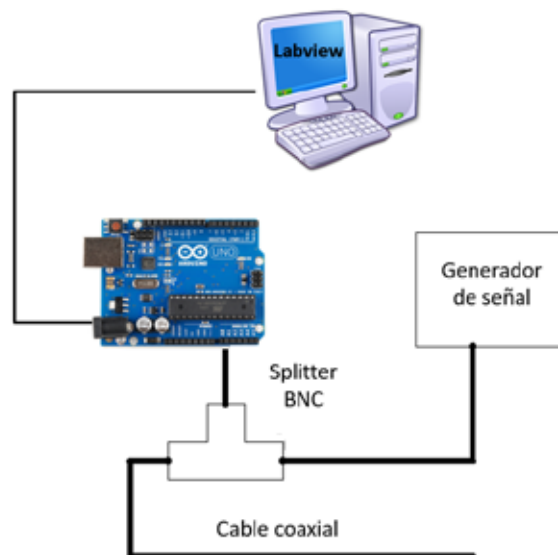
LABVIEW es un software de gran utilidad puesto que nos permite la realización de instrumentos virtuales, un instrumento virtual es aquel que no es real, se ejecuta en un computador y sus funciones quedan definidas por software. La instrumentación virtual se basa en la utilización del computador como instrumento de medición de una o varias variables físicas ya sean estas de presión, caudal, temperatura, que se representen mediante señales analógicas de voltaje o corriente, en nuestro caso la señal biomédica. El término virtual le permite al instrumento no estar limitado a realizar ciertas funciones y operaciones puntuales, ya que el programador será quien definirá la apariencia, funcionamiento, y los análisis que

deberá realizar el instrumento creado. Este es un punto importante ya que no tenemos limitaciones a la hora de diseñar nuestro programa.

Por otra parte, este instrumento virtual se complementará con el hardware adecuado para la adquisición de datos (DAQ), la cual en el apartado anterior fue seleccionada la placa Arduino, lo cual da una gran flexibilidad para crear una variedad de aplicaciones que puedan ser manipuladas por el software. El instrumento virtual queda definido como el hardware y software, que sumado a un computador, permite a una persona interactuar con esta como si estuviera utilizando un equipo o instrumento electrónico hecho a su gusto.

#### 4.2.3 Diseño de la arquitectura del Hardware

Primeramente, se realizó un diagrama para poder tener en cuenta las conexiones entre el Arduino, splitter y el generador de señal. En la figura 16 se puede observar el diagrama de conexiones el cual especifica seleccionando los componentes en el apartado anterior. El splitter BNC conecta el cable coaxial con el generador de señal conmuta la señal en una sola y este la envía por el puerto de salida al Arduino. El Arduino se encarga de procesar la señal de analógica a digital y la envía hacia el computador para poder observar la gráfica de la señal generada.



**Figura 19.** Diagrama de conexiones

Fuente: Monroy (2019).

#### **4.2.3.1 Diseño del esquemático de la arquitectura del Hardware**

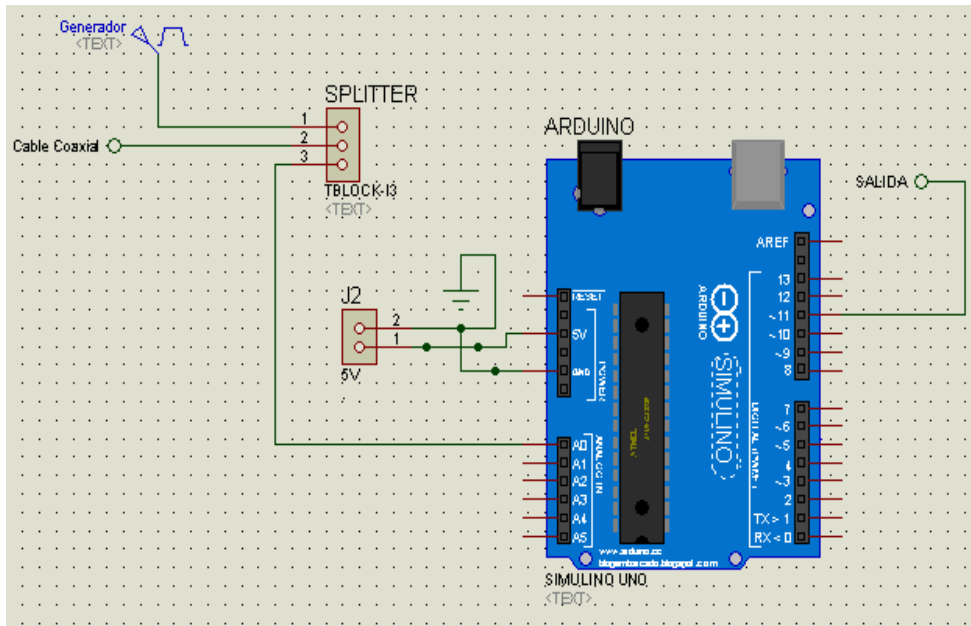
Para establecer el diseño del hardware del dispositivo aplicado al estudio de las líneas de transmisión se escogió el software Proteus el cual este es una compilación de programas de diseño y simulación electrónica, desarrollado por LabcenterElectronics. El Proteus 7.1 es una herramienta poderosa para simular programas escritos en alto nivel. Que integra dos programas para la realización y simulación de circuitos esquemáticos y tarjetas de circuito integrado.

El primero de ellos es el ISIS Software, encargado de realizar circuitos esquemáticos con una gran cantidad de periféricos, con una librería que contiene numerosos tipos de microcontroladores que están en el mercado pasando por una gran cantidad de elementos pasivos, hasta llegar a muchos elementos periféricos como pantallas, osciloscopios, amperímetros, entre otros; que permiten a su vez una simulación fiel del proyecto que se va a realizar.

El segundo es el ARES Software que se combina por una interfaz con el ISIS software para el diseño de las tarjetas de circuito impreso (por sus siglas en inglés PCB) con una gran cantidad de características que ayudan a mejorar el diseño de las tarjetas hasta llevarlo al nivel profesional que el usuario necesite.

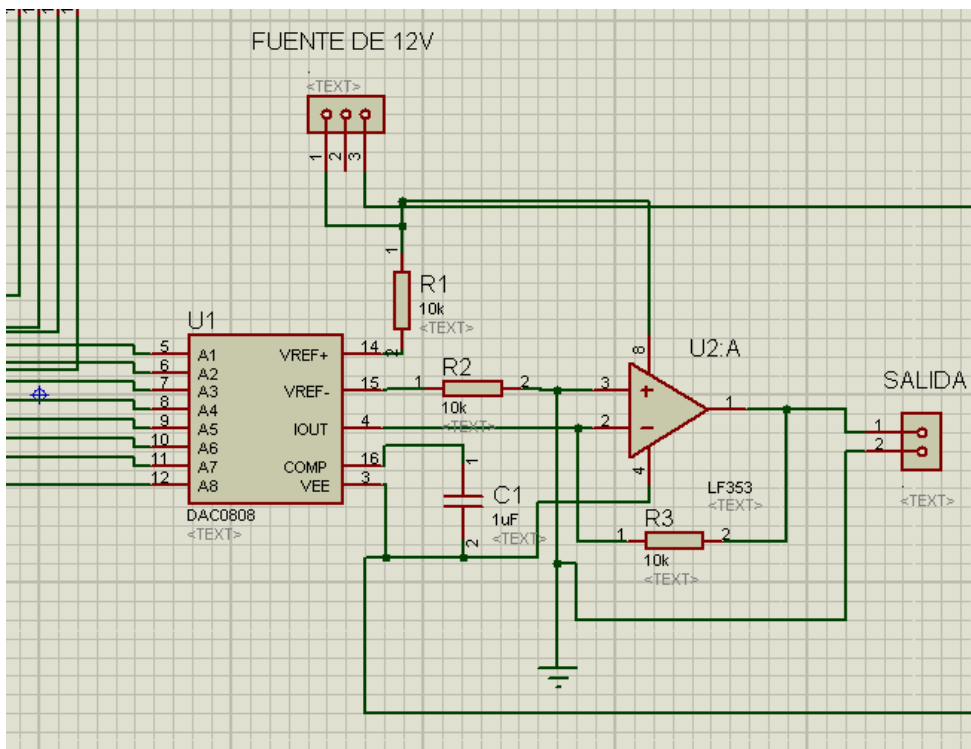
Primeramente, para el diseño del esquemático se estableció la conexión entre la tarjeta Arduino y el Splitter. Para simular los pines del Splitter se utilizó un Tblock-3, el cual este es un conector de 3 pines, cada pin especificado con la etiqueta también se utilizó una fuente que generara el pulso rectangular hacia el splitter. Para la alimentación del arduino también se utilizó un Tblock-2 el cual este conector es de dos pines, el pin 1 indica una fuente de voltaje de 5V, y el pin 2 especificado como la tierra (GND). (Observar figura 20).

Para culminar el diseño del esquemático se conecta un conversor digital analógico al puerto binario del arduino, de manera que a la salida se pueda observar en un osciloscopio la señal de cable (Observar figura 21).



**Figura 20.** Diseño del esquemático del hardware.

Fuente: Monroy (2019).



**Figura 21.** Diseño del esquemático 2.

Fuente: Monroy (2019).

### 4.3 Fase III: Diseño de la interfaz gráfica aplicada al estudio de las líneas de transmisión de ondas guiadas.

Estableciendo la arquitectura del Hardware en la fase III se procederá a la implementación de la interfaz gráfica para observar la señal del cable. Para lograr esto se dividirá el trabajo en tres secciones:

- Diseño de la conversión analógica-digital en el software Arduino.
- Diseño de la comunicación entre Arduino y LABVIEW.
- Diseño de la interfaz en el software LABVIEW.

#### 4.3.1 Diseño de la conversión analógica-digital en el software Arduino

Para establecer una comunicación entre el Splitter BNC, y la interfaz electrónica Arduino Uno, se hace necesario el uso de un firmware, es decir, un código que debe ser cargado a la placa arduino para que ésta interprete adecuadamente las señales que el dispositivo envíe, además de que el software pueda reconocer el puerto de la computadora adecuadamente y se establezca una comunicación exitosa entre ellos. Antes de proceder con el desarrollo del código fuente se elaboró un diagrama de flujo en donde se detalla los procesos que conlleva cada etapa de programación, (ver figura 17.) Para este sistema se ha hecho uso de varias funciones que ejecutan una tarea específica del sistema.



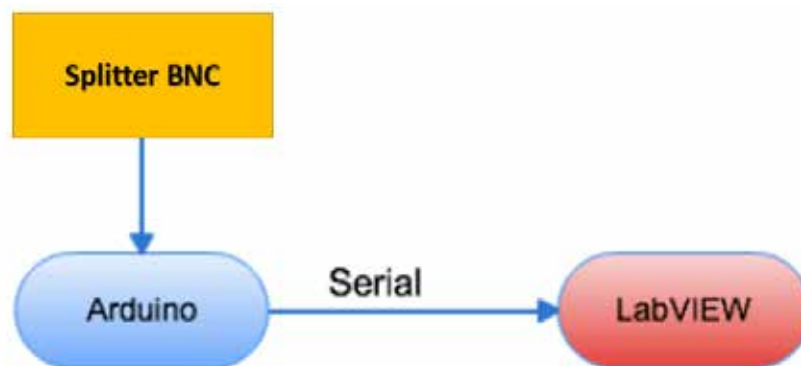
**Figura 22.** Diagrama de flujo del programa Arduino  
Fuente: Monroy (2019).

En la figura 17 se puede observar el diagrama de flujo del programa Arduino el cual especifica que es necesario añadir las librerías específicas para las distintas conexiones entre Arduino y la plataforma de desarrollo Labview, seguidamente se hace la declaración de variables estáticas, variables de entrada y salida para el manejo del programa y por último se declaran los puertos dependiendo de cuantas señales de entrada y salida manejos. En nuestro caso tenemos una variable de entrada la cual será conectada por el pin A0 proveniente de la salida del splitter y tenemos una señal de salida que genera el dispositivo Arduino la cual esta será enviada a la plataforma de desarrollo Labview.

#### 4.3.2 Diseño de la comunicación entre Arduino y LABVIEW.

Una vez establecido el código en Arduino para detectar la señal del cable, vamos a realizar una primera comunicación direccional, en este caso solo enviaremos datos desde el Arduino hacia el LABVIEW.

En la figura 18, se muestra un diagrama de bloques entre el Arduino y el software LABVIEW.

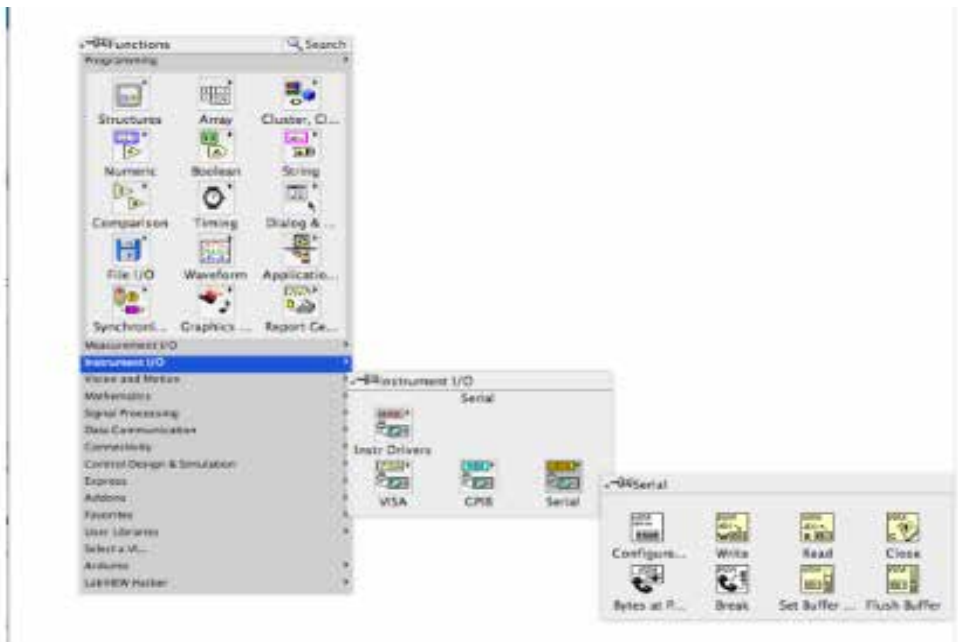


**Figura 23.** Comunicación Unidireccional

Fuente: Monroy (2019).

Para establecer el acceso al puerto serial desde LABVIEW se debe iniciar una sesión VISA añadiendo un bloque “VISA configure serial port”, para realizar esto seguimos los siguientes pasos:

- 1) Abrir la pantalla LABVIEW y escoger como plantilla un documento en blanco Pulsamos con el botón derecho sobre ella, desplegando el menú de funciones y nos desplazamos hasta la categoría Instrument I/O -> Serial.



**Figura 24.** Comunicación Arduino- LabView (paso #1).  
Fuente: Monroy (2019).

- 2) Luego insertamos los bloques Configure Serial Port, Read Close Bytes at Port (Observar figura 25).



**Figura 25.** Comunicación Arduino- LabView (paso #2).  
Fuente: Monroy (2019).

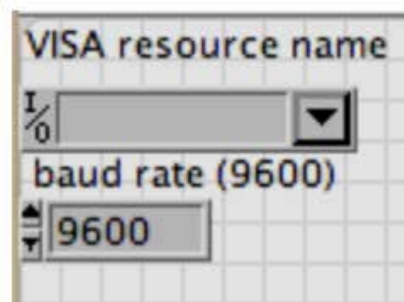
- 3) Lo siguiente es crear el bucle While Functions ->Programming ->Structures ->WhileLoop donde ejecutaremos el programa e introducimos en él los bloques de Read y Bytes at Port



**Figura 26.**Comunicación Arduino- LabView (paso #3).

Fuente: Monroy (2019).

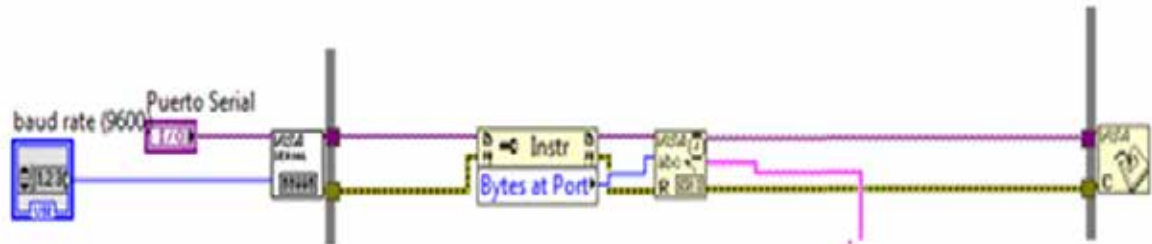
- 4) Se utilizaron dos controles para poder seleccionar el tipo de placa que utilizaremos y la velocidad de transmisión. Para ello, en el bloque ConfigureSerialPort hacemos clic derecho sobre la opción que deseemos y seleccionamos Create -> Control De esta manera creamos los controles el primero VISA resourcename, el cual sirve para escoger el puerto COM por el cual está conectado el dispositivo Arduino, el segundo bauderate la velocidad de conexión del puerto serial por defecto se coloca en 9600 ya que inicialmente en el código de Arduino se estableció de esta manera y para que la comunicación sea efectiva estos valores deben coincidir.



**Figura 27.**Comunicación Arduino- LabView (paso #4).

Fuente: Monroy (2019).

5) Finalmente conectamos todo, en la figura 28 se observa como quedo la comunicación entre el Arduino y LabView.



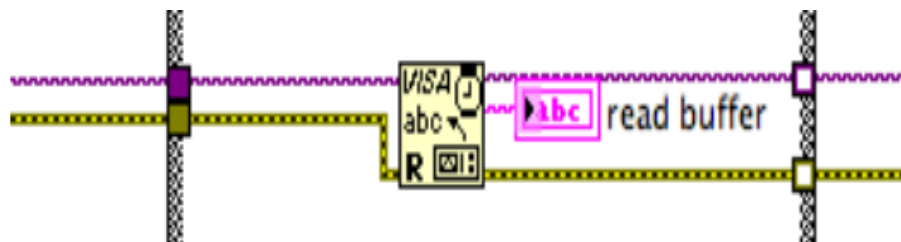
**Figura 28.**Comunicación Arduino- LabView (paso #5).

Fuente: Monroy (2019).

#### 4.3.3 Diseño de la interfaz en el software LABVIEW.

Después de haber establecido la conexión entre el Arduino y el software LABVIEW explicado anteriormente, empezaremos a diseñar la interfaz el cual nos permitirá observar la señal del cable.

Primeramente configuramos el bloque Read, el cual este nos permite leer el puerto serial, entonces para mostrar los datos que hemos recibido colocamos un indicador a la salida del boque Read (Ver figura 29). Por medio de este read buffer podemos ir observando todos los valores en tiempo real que se van enviando a través de la comunicación serial.

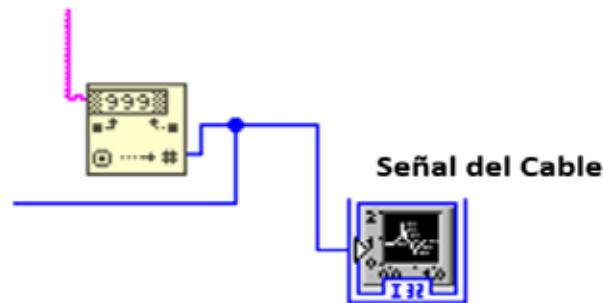


**Figura 29.** Lectura del boque Read.

Fuente: Monroy (2019).

Luego como es necesario poder graficar los valores que se envían por el puerto serial necesitaremos realizar una conversión de string a numérico, esto es

necesario ya que los datos son enviados de manera string por el puerto serial y si no se realiza esta conversión no es posible observar la gráfica, después por el panel de control agregamos un WaveformGraph un osciloscopio digital, este permitirá observar la señal biomédica en tiempo real. El código utilizado para esta sección se observa en la figura 30.



**Figura 30.** Salida de la señal del cable.

Fuente: Monroy (2019).

La interfaz gráfica que se desarrolló en el software LabView, consta de tres paneles con los cuales se configuran y se ordenan todos los datos para su posterior análisis y gráfica, estos paneles son: panel de control, panel gráfico y parámetros de la línea de transmisión.

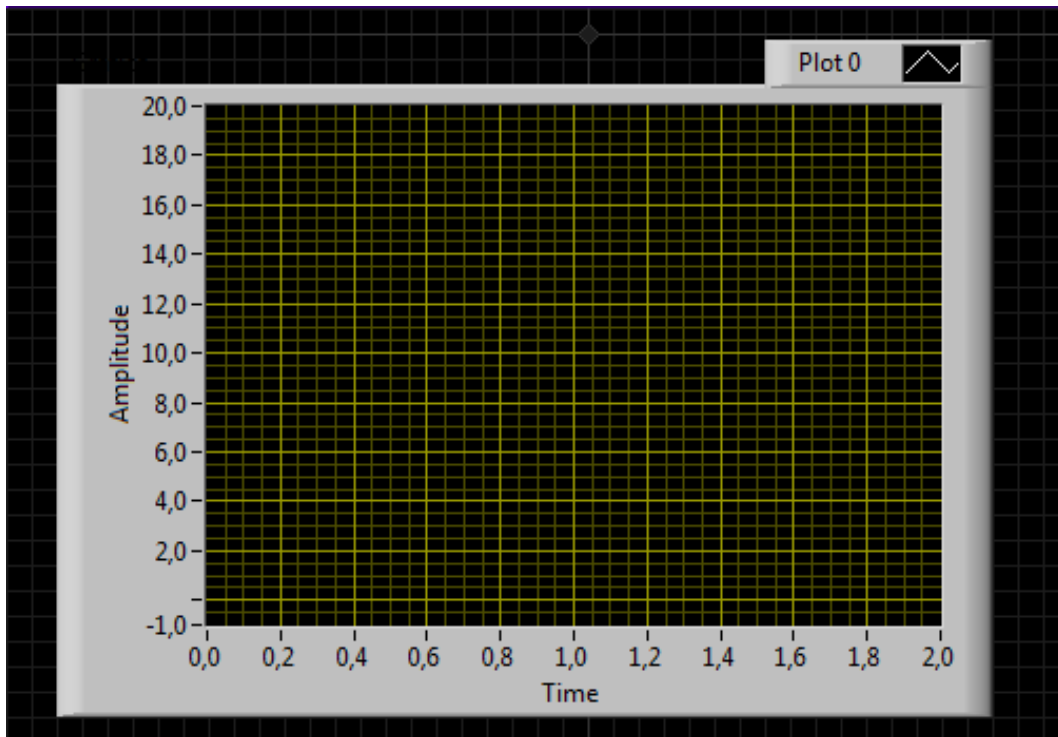
El panel de control es uno de los más importantes puestos que en este se configura las características del dispositivo de entrada las cuales son: velocidad de transmisión de datos y puerto serial.



**Figura 31.** Panel de control

Fuente: Monroy (2019).

En la parte izquierda se muestra el comportamiento gráfico de la señal del cable, el cual es observado por un osciloscopio, dando estos valores de voltaje en función del tiempo en nano segundos.

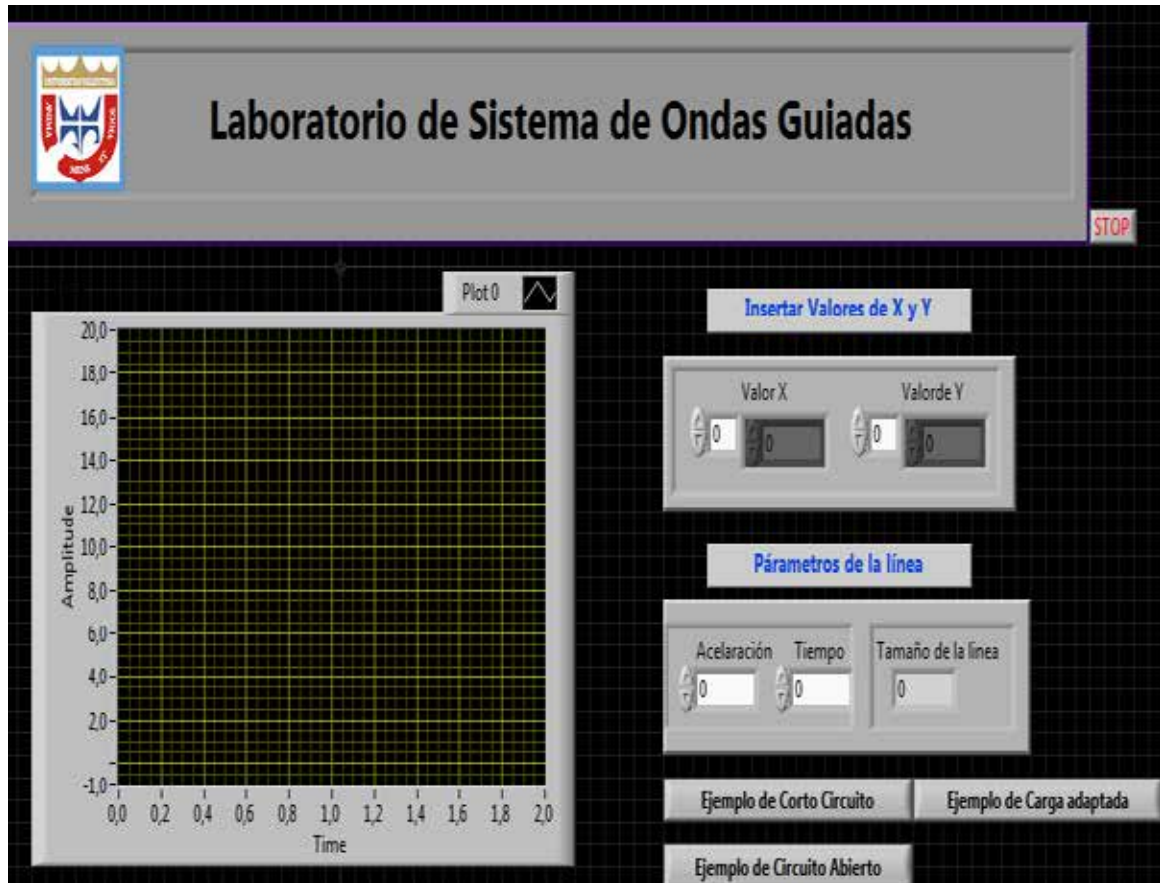


**Figura 32.** Panel gráfico.

Fuente: Monroy (2019).

Del lado derecho se presentan los controles para los parámetros de la línea, la interfaz diseñada puede calcular el tamaño de la línea automáticamente, siendo esta proporcionada el valor de la velocidad obtenida del datashett y el tiempo en que se obtienen la primera reflexión.

Finalmente en la figura 33 se muestra la interfaz final desarrollada en el software LABVIEW



**Figura 33.** Interfaz final

Fuente: Monroy (2019).

#### 4.3.4 Pruebas de la interfaz en el software LABVIEW.

Por efectos de simulación, primordialmente la interfaz se basa en tres objetivos en específicos los cuales son los siguientes:

- Leer los valores de señal del cable.
- Graficar los valores de la señal en un osciloscopio virtual.
- Ejemplos de señales en corto circuito, circuito abierto y carga adaptada.

Para leer los valores de la señal del cable no se contaba con el arduino, sin embargo, la base de datos seleccionada para analizar la señal del cable se obtuvo del laboratorio de Sistemas de Ondas Guiadas de la Universidad de Carabobo, siendo está proporcionando los valores de voltaje y tiempo para la gráfica de la señal. Como

se explicó anteriormente la interfaz cuenta con ejemplos de corto circuito, circuito abierto y carga adaptada, los cuales estos fueron graficados de la siguiente manera.

**Tabla 4.** Base de datos

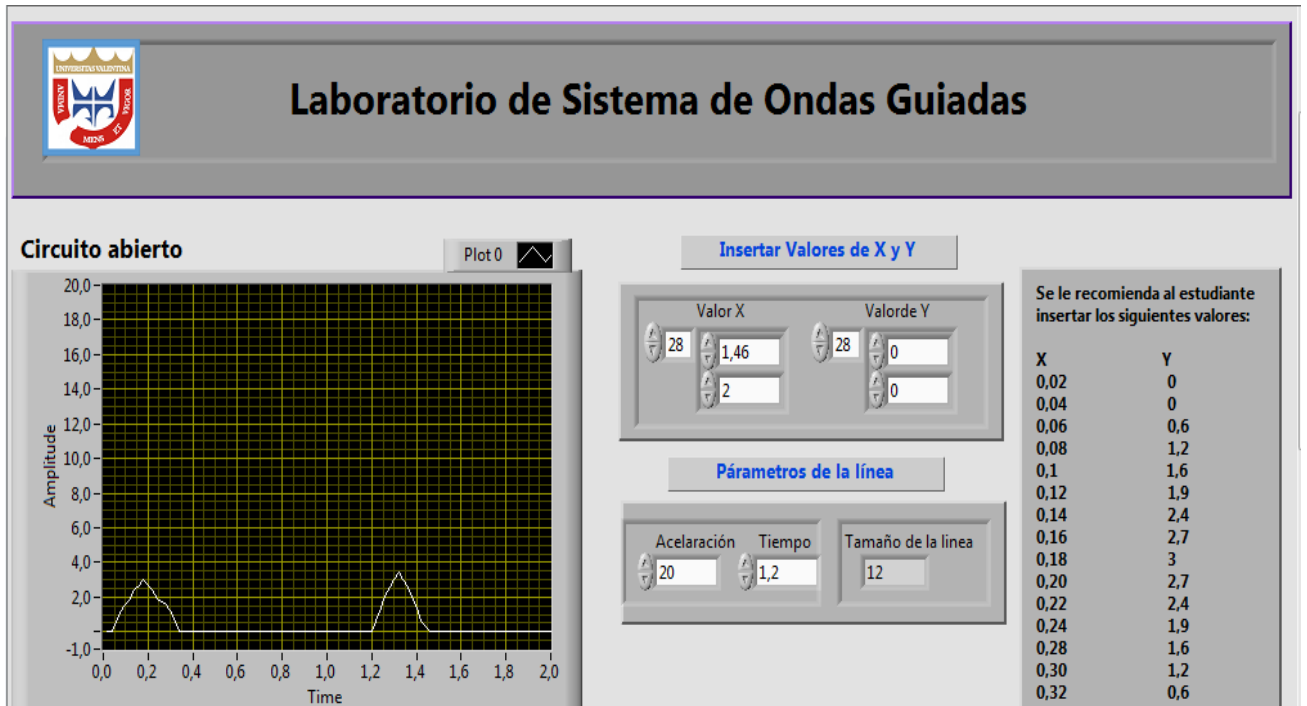
Corto circuito		Circuito Abierto		Carga Adaptada	
0,02	0	0,02	0	0,02	0
0,04	0	0,04	0	0,04	0
0,06	0,6	0,06	0,6	0,06	0,6
0,08	1,2	0,08	1,2	0,08	1,2
0,10	1,6	0,10	1,6	0,10	1,6
0,12	1,9	0,12	1,9	0,12	1,9
0,14	2,4	0,14	2,4	0,14	2,4
0,16	2,7	0,16	2,7	0,16	2,7
0,18	2,4	0,18	2,4	0,18	2,4
0,20	1,9	0,20	1,9	0,20	1,9
0,22	1,6	0,22	1,6	0,22	1,6
0,24	1,2	0,24	1,2	0,24	1,2
0,26	0,6	0,26	0,6	0,26	0,6
0,28	0	0,28	0	0,28	0
1,2	0	1,2	0	1,2	0
1,22	0,6	1,22	-0,6	2	0
1,24	1,2	1,24	-1,2		
1,26	1,6	1,26	-1,6		
1,28	1,9	1,28	-1,9		
1,30	2,4	1,30	-2,4		
1,32	2,7	1,32	-2,7		
1,34	2,4	1,34	-2,4		
1,36	1,9	1,36	-1,9		
1,38	1,6	1,38	-1,6		
1,40	1,2	1,40	-1,2		
1,42	0,6	1,42	-0,6		
1,44	0	1,44	0		
2	0	2	0		

Fuente: Laboratorio de Sistemas de Ondas Guiadas Universidad de Carabobo (2019).

#### 4.3.4.1 Prueba Circuito Abierto

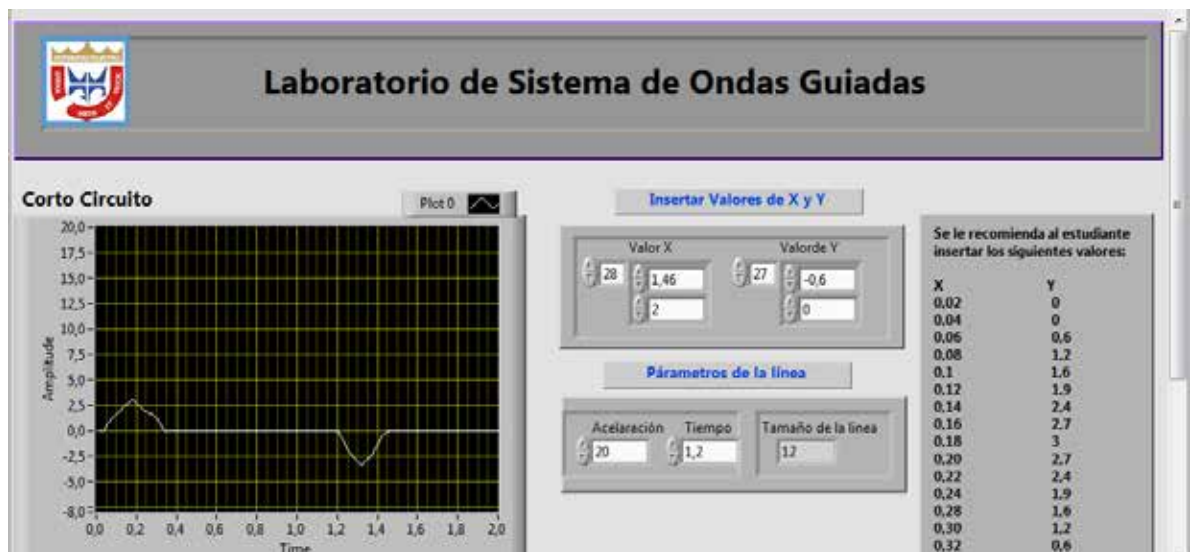
En la figura 34 se puede observar la señal del cable para una carga en circuito abierto, la interfaz fue desarrollada de la manera que pueda ayudar al estudiante

siendo esta proporcionando de lado izquierdo valores para que sean insertados en el panel principal y así obtener la graficada deseada.



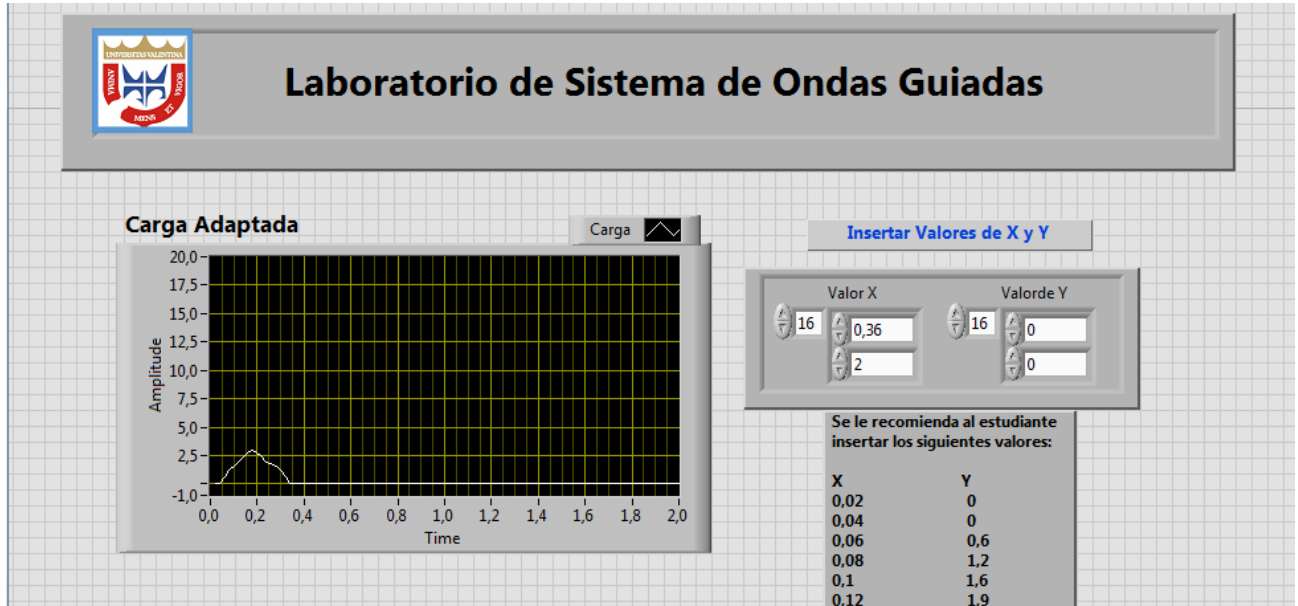
**Figura 34.** Prueba Circuito abierto.  
Fuente: Monroy (2019).

#### 4.3.4.2 Prueba Corto Circuito



**Figura 35. Prueba Corto Circuito**  
Fuente: Monroy (2019).

#### 4.3.4.3 Prueba Carga Adaptada



**Figura 36. Prueba Carga Adaptada**  
Fuente: Monroy (2019).

#### 4.3.4 Estudio de factibilidad económico, social y ambiental

El sistema se trata del diseño de una interfaz gráfica para el estudio de líneas de transmisión y su posible implementación como nuevas tecnologías para la Universidad José Antonio Páez, el cual es el diseño de un dispositivo para el estudio de las guías de ondas, con el que la universidad no cuenta y es de gran importancia para el mejoramiento de la calidad del estudio de los participantes que cursan dicha materia, el cual implementar el nuevo dispositivo mejorará la calidad de la materia para realizar las simulaciones de cada una de las prácticas que incluye el laboratorio.

##### 4.3.4.1 Factibilidad económica.

La Tabla 5 muestra la lista de materiales necesarios para el proyecto con sus respectivos costos. La mayoría de los precios presentados fueron obtenidos mediante pedidos de presupuestos en páginas web especializadas en la venta de equipos electrónicos y eléctricos industriales, algunas de ellas son nacionales y otras extranjeras. Se utilizaron presupuestos de Mercado Libre, Amazon, EBay y otros. Mientras que la Tabla.6 presenta el costo de mano de obra calculado en un 30% del costo total de los materiales.

**Tabla 5.** Lista de materiales

Ítem	Cant.	Nombre	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1	1	Arduino <b>Modelo:</b> Mega	Con salida 4 - 20 mA	20\$	20\$
2	1	Splitter BNC <b>Modelo:</b> Extreme	3 entradas, 1 salida conmutada	30\$	30\$
3	1	Generador de señales <b>Modelo:</b> BK, 5Mhz.	Múltiples señales.	170\$	170\$
				<b>TOTAL:</b>	<b>220\$</b>

Fuente: Monroy (2019).

**Tabla 6.** Costo de mano de obra

<b>COSTOS</b>	<b>TOTAL (IVA incluido):</b>
<b>COSTO DE MANO DE OBRA. 30 % DEL COSTO DE MATERIALES.</b>	<b>80 \$</b>
<b>COSTO DE LA INGENIERÍA</b>	<b>100\$</b>
<b>TOTAL (IVA incluido):</b>	<b>180\$</b>

Fuente: Monroy (2019).

El costo de mano de obra de la Tabla 6 se refiere al costo de montaje y puesta en funcionamiento de cada uno de los componentes del proyecto. Mientras que el costo de ingeniería se refiere al salario del ingeniero a cargo del diseño y estudio del proyecto teniendo en cuenta una duración del trabajo de 15 días.

#### **4.3.4.2 Factibilidad Ambiental**

Es importante considerar procedimientos que eviten el mal uso de los recursos, que permita mantener un equilibrio entre los ecosistemas y su contexto. De este modo llevar a cabo estudios de impactos ecológicos en la zona, de impacto urbano y de impacto social.

El presente trabajo no genera ningún tipo de desechos que pueda ser considerado como nocivo para el medio ambiente, o que sea susceptible de generar daño a los ecosistemas, por lo que el grado de contaminación que el mismo genera puede ser considerado despreciable, por lo que el actual trabajo de investigación cumple con todos los requisitos o parámetros necesarios que garanticen su factibilidad ambiental.

#### **4.3.4.3 Factibilidad Social**

Este trabajo se enfoca directamente en satisfacer las necesidades en los estudiantes acerca de la materia de Sistemas de Ondas Guiadas de la carrera Ingeniería en Telecomunicaciones y su implementación repercutiría en mejoras significativas en la calidad de estudio de los estudiantes que se encuentran cursando la materia.

En consecuencia, el presente trabajo de grado puede ser considerado como un proyecto social, ya que la misma busca generar mejoras en la calidad del estudiante dentro de un entorno específico, en este caso en particular, los estudiantes de la materia Sistemas de Ondas Guiadas. Existen distintos factores que permiten medir la viabilidad de un proyecto de este tipo, el número de beneficiarios directos, soluciones y sostenibilidad.

- **Número de beneficiarios directos:** con la implementación del presente trabajo de investigación se verían beneficiadas un aproximado de 100 estudiantes, las cuales presentarían mejoras significativas en su calidad de estudio.
- **Soluciones:** el proyecto cumple con todos los objetivos planteados, por lo tanto, es una solución eficiente que servirá de gran ayuda a los estudiantes de la Universidad Jose Antonio Páez.
- **Sostenibilidad:** los equipos y materiales los cuales se usarán para realizar el dispositivo para el estudio de guías de ondas, requieren de un mantenimiento mínimo, y si son utilizados de la forma adecuada y en condiciones de trabajo óptimas, los mismos cuentan con una vida útil bastante alta.

## CONCLUSIONES

Un TDR o reflectómetro de dominio de tiempo es un instrumento de medición que mediante la medida del retraso (eco) de una señal eléctrica permite calcular distancias medidas a partir del punto de conexión. Generalmente es un equipo portátil para su uso en campo (aunque también existen algunos modelos de mesa) y se utiliza con frecuencia en las redes de cable coaxial para determinar fallas y roturas en el cable.

El reflectómetro opera en forma similar a un radar, este instrumento envía un pulso de corta duración, con un tiempo de crecimiento rápido, que se propaga a todo lo largo del cable en estudio, para luego medir el tiempo de regreso de una parte de la señal enviada (eco). Si se conoce la velocidad de propagación en el cable, podría determinarse la distancia con una gran precisión entre la fuente emisora y la falla en el cable, mediante una expresión bastante sencilla.

Sin embargo, para el diseño del dispositivo para el estudio de las líneas de transmisión hay tres puntos básicos los cuales son, el sensado, procesamiento de la señal y el despliegue gráfico de la señal. La interfaz aquí propuesta cae en la parte de despliegue gráfico y nos servirá para simular señales provenientes de la guía de onda, calcular el valor del cable, así como, el ejemplo de posibles señales según el tipo de carga, esto se lleva a cabo en la plataforma de programación LABVIEW. En un futuro esta interfaz puede ser adaptada a un instrumento real de adquisición de señales y poder observarla en tiempo real.

De la investigación y el trabajo desarrollado se desprenden una serie de conclusiones como son:

- La señal del cable que se desea medir y observar presento importantes características. Es una señal de voltaje entre un valor que oscila entre los 0 y 3 V, la señal del tiempo es medido en nano segundos.
- La señal es observada por dos pulsos, el pulso incidente y el pulso reflejado.

- La visualización y el guardado de datos se han realizado mediante un lenguaje de alto nivel, de tipo gráfico, y enfocado al uso en instrumentación. Realizarlo de esta forma nos permite la posibilidad de que el programa sea utilizado por un usuario sin conocimientos previos, y que este programa sea fácil de llevar a otros PC puesto que no requiere de instalación al bastar con un ejecutable.
- La interfaz desarrollada en este proyecto permite presentar de forma clara los resultados de la observar la señal de una guía de onda, brindado a los estudiantes de la Universidad Jose Antonio Páez que posean conocimientos en el área del laboratorio de Sistemas de Ondas Guiadas, es por eso la interfaz diseñada, se realizó con la idea de lograr un ambiente intuitivo y gráfico, que permita al usuario interactuar de forma rápida y sencilla con el sistema.

Finalmente, refiriéndose a los costos de construcción de este equipo, se ha hecho una gran diferencia puesto que solo con la comprar del splitter y el arduino el prototipo diseñado es de bajo costo, lo cual contribuye un gran aporte a la Universidad Jose Antonio Páez en el área del laboratorio de Sistemas de Ondas Guiadas.

## RECOMENDACIONES

- Dadas las limitaciones del Arduino Uno debido a su arquitectura, sería de gran utilidad reemplazarlo por otro tipo mucho más potente de mayores recursos, como el uso de un Raspberry Pi, el cual contiene más memoria RAM y un reloj de frecuencia de más alta capacidad.
- Integrar una memoria del tipo SD a la tarjeta Arduino, de forma de darle portabilidad a la información almacenada.
- Para el diseño del esquemático colocar una pantalla LCD que indique si el cable se encuentra en corto circuito, circuito abierto o carga adaptada.
- Agregarle al equipo un sistema de alimentación de respaldo, para que cuente con autonomía en los casos en que se corte la alimentación principal.
- Diseñar una aplicación Android de manera que se observe la señal del cable y el dispositivo pueda ser portátil.
- Expandir el diseño a un OTDR (Reflectómetro para el estudio de fibra óptica).

## REFERENCIAS

### **Bibliográficas**

- Arias, F. (1999). **El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica**. 3ra Edición. Caracas: Editorial Episteme.
- Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica**. Caracas: Editorial Episteme.
- Bianchi, A (1980). **Sistemas de Ondas Guiadas**. 1 Edición. España. Editorial: Boixareu.
- Dubs de Moya, R. (2002). **El Proyecto Factible: una modalidad de investigación**. Caracas, Venezuela.
- Hurtado, J. (2007). **El proyecto de investigación**. Caracas: Editorial Quirón.
- Mijares, H yGarcía, L. (2007). **Normas para la Elaboración y Presentación de los Anteproyectos, Proyectos y Trabajos de Grado**. Carabobo: Editorial UJAP
- Palella, S. y Martins, F. (2010). **Metodología de la investigación cuantitativa**. Caracas: Editorial: Fedupel.
- Sabino, C. (1996). **Introducción a la Metodología de Investigación**. Caracas: Editorial: Panapo.
- Tamayo, M. (1998). **El proceso de la investigación científica**. 3ra edición. México: Editorial Limusa.
- Pérez. M. (2012). **Configuración de un PLC**. México. Editorial BMJ.

### **Electrónicas**

- Almudena, J (2015) **Desarrollo de un sistema de sensores para la detección de sustancias peligrosas**. Recuperado en:  
**<http://hdl.handle.net/10486/668306>**
- Barrantes, M (2018). **Estudio de las líneas de transmisión para la materia Sistemas de Ondas Guiadas**, Recuperado en:

**<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/9294/ContrerasHurtadoBarrantesM2013.pdf;jsessionid=8B8F6719F0983D83E2EA5922851F8A89?sequence=2>**

Gómez, M (2018). **Estudio de las líneas de transmisión para la materia Sistemas de Ondas Guiadas**

Tapia, C (2017). **Evaluación de la plataforma Arduino e implementación de un sistema de control para una línea de transmisión**”Recuperado en:  
**<http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/1335/1/108T0005.pdf>**

Salazar Bayas., F (2015). **“Desarrollo de una aplicación para dispositivos móviles para el estudio de hábitos de vida saludable”**.Recuperado en:  
**<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11329/1/AC-ESPEL-EMI-0295.pdf>**