



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES
Y REDES

“CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ADAPTACIÓN DE
IMPEDANCIAS PARA LA TRANSMISIÓN DE AUDIO, VIDEO Y DATOS A
TRAVÉS DE LÍNEAS DE POTENCIA (PLT)”

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTORES: DAVID ISMAEL HUMANANTE GUILCAPI
VALERIA CATALINA SÁNCHEZ VILLEGAS

TUTOR: ING. PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA.

Riobamba-Ecuador

2016

@2016, David Ismael Humanante Guilcapi, Valeria Catalina Sánchez Villegas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES Y REDES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica: “CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ADAPTACIÓN DE IMPEDANCIAS PARA LA TRANSMISIÓN DE AUDIO, VIDEO Y DATOS A TRAVÉS DE LÍNEAS DE POTENCIA (PLT)”, de responsabilidad de David Ismael Humanante Guilcapi y Valeria Catalina Sánchez Villegas ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna		
DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Franklin Moreno		
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Ing. Pedro Infante		
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Oswaldo Martínez		
MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

Nosotros, David Ismael Humanante Guilcapi y Valeria Catalina Sánchez Villegas declaramos ser los autores del presente trabajo de titulación: “CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ADAPTACIÓN DE IMPEDANCIAS PARA LA TRANSMISIÓN DE AUDIO, VIDEO Y DATOS A TRAVÉS DE LÍNEAS DE POTENCIA (PLT)”, que fue elaborado en su totalidad por nosotros, bajo la dirección del Ingeniero Pedro Infante, haciéndonos totalmente responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Valeria Catalina Sánchez Villegas

David Ismael Humanante Guilcapi

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios y la santísima virgen de los Dolores, quien supo guiarme por el camino del bien, dándome fuerzas y sabiduría para seguir adelante sin desmayar en las dificultades que se presentaron en el camino, enseñándome a levantar la frente sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres Segundo Humanante y Norma Guilcapi, les dedico todo mi esfuerzo por su apoyo incondicional, sus consejos, comprensión y amor que día a día me brindaron en los momentos más difíciles quienes con afán y sacrificio hicieron posible la culminación de esta etapa de mi vida.

A mi hermano Orlando, por ser mi ejemplo a seguir, por estar siempre acompañándome para poder realizar y cumplir con mi meta establecida, a mi tía María por darme ánimos cuando los necesite por su preocupación, por ser como una segunda madre para mí, a toda mi familia en general por estar conmigo en las buenas y en las malas.

A Lizbeth por todo su cariño, confianza, comprensión, sus palabras de aliento, y apoyo en todo momento, a mis amigos ya que con ellos he compartido muchas experiencias, a lo largo de mi carrera, recuerdos inolvidables los cuales se quedan en el corazón.

David

A Dios por bendecirme y darme las fuerzas necesarias para no desmayar y seguir luchando cada día para cumplir tan anhelada meta.

A mis queridos padres Julio y Cecilia quienes me han brindado su amor y su apoyo incondicional en las buenas y en las malas, alentándome siempre para culminar mis estudios. A mi abuelito Luis que desde el cielo me está bendiciendo y guiándome para ser una buena persona.

A mis hermanas Diana y Alejandra que siempre han estado pendientes de mí brindándome su ayuda, para poder cumplir este sueño. A mis queridas tías Rebequita y Anita, a mis primos Henry y Cristinita, gracias por confiar en mí, a mi tío Joselito gracias por todo el cariño y apoyo. Como no dedicarle este trabajo a mi querida prima Vane, infinitas gracias por todo lo que has hecho por mí. A Dayana, Ivancito y Julieth quienes con su inocencia y su amor son mi inspiración para seguir adelante. A kleber por su confianza, ayuda y apoyo en los momentos buenos y malos.

Gracias familia este logro también es de ustedes.

Valeria

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar a culminar este escalón tan importante para mi vida. A mis padres quienes son un pilar fundamental en mi vida, creyeron en mí en todo momento, Papa, Mama, gracias por la enseñanza que me dieron gracias por el sacrificio que hicieron por mí, y mi hermano.

Con una expresión de gratitud para el Ing. Pedro Infante e Ing. Oswaldo Martínez quienes con nobleza y entusiasmo pusieron su esfuerzo dedicación para guiarme con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación logrando en mí que llegue a terminar con éxito el trabajo de titulación.

A mi compañera Valeria ya que junto a ella hemos puesto todo nuestro empeño y dedicación para culminar este trabajo.

Como no agradecer a mis profesores quienes aportaron con un granito de arena durante toda mi carrera profesional para culminar con éxito, por ello es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente, expresándoles mi más sincero agradecimiento.

David

A Dios por la bendición de haber culminado esta etapa de mi vida, a mis padres y hermanas, sabiendo que no hay forma de agradecerles por su sacrificio, para verme alcanzar mi meta.

Agradecimiento fraterno al Ing. Pedro Infante e Ing. Oswaldo Martínez quienes con sus conocimientos y consejos fueron una guía y ayuda para culminar tan arduo trabajo, a todos nuestros profesores que nos formaron para ser buenos profesionales y así culminar con éxito nuestra carrera.

A mi compañero de trabajo de titulación David, con quien nos hemos sacrificado para alcanzar nuestra meta y a todos mis amigos que han estado pendientes de este trabajo. Gracias a todos.

Valeria

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA.....	I
DERECHO DE AUTOR.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
TABLA DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES	XIII
RESUMEN	XV
SUMMARY	XVI
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	1
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	3
JUSTIFICACIÓN APLICATIVA	3
OBJETIVOS.....	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPITULO I.....	5
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Red de suministro de energía eléctrica	5
1.1.1 Definición.....	5
1.1.2 Red domiciliaria	5
1.1.3 Elementos de bajo voltaje.....	6

1.2	Tecnología PLT	6
1.2.1	Definición.....	6
1.2.2	Transmisión de datos a través de PLT	6
1.2.3	Parámetros técnicos	7
1.3	Líneas de Transmisión.....	7
1.3.1	Obtención de la impedancia característica de la línea de trasmisión.....	9
1.3.2	Onda Incidente y refleja	11
1.3.3	Coefficiente de reflexión.....	12
1.3.4	Coefficiente de onda estacionaria	13
1.4	Adaptación de impedancias	13
1.5	Adaptación de impedancias con elementos concentrados.....	14
1.5	Carta Smith	15
1.6	Tipos de líneas de transmisión.....	17
1.6.1	Cable de Par Trenzado.....	17
1.6.2	Cable Gemelo	17
1.6.3	Cable Coaxial o Concéntrica	18
1.6.4	Pérdidas y Atenuaciones.....	19
1.7	Convertor Digital – Analógico.....	20
1.8	Plataforma Arduino	20
1.9	Módulo sensor de corriente ACS712 20 A.....	21
1.9.1	Características	21
1.9.2	Parámetros técnicos	22
1.10	Equipos de medición	23
1.10.1	Osciloscopio Digital	23
1.10.2	Funciones de un osciloscopio	23
1.10.3	Multímetro.....	24
1.10.4	Pinza Amperimétrica	25
	CAPÍTULO II	26
2.	MARCO METODOLÓGICO.....	26

2.1	Introducción	26
2.2	Diseño y construcción del sistema adaptador de impedancias (SAI), transmisor y receptor	26
2.2.1	Diseño y construcción del adaptador de impedancias (AI)	27
2.2.2	Diseño del controlador de impedancias (CI).....	35
2.2.3	Implementación del circuito controlador de impedancias (CCI).....	39
2.2.4	Implementacion del sistema adaptador de impedancias (SAI), transmisor y receptor ...	40
CAPÍTULO III.....		45
3.	EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS	45
3.1	Introducción	45
3.2	Sistema de la línea de transmisión con tres nodos T1, T2, T3	45
3.3	Implementación del circuito controlador de impedancias.....	47
3.3.1	Proceso de Pruebas del Sistema Adaptador de Impedancias.....	47
4.	Pruebas del Controlador de impedancias	58
4.1	Equipos utilizados para diferentes pruebas.....	63
4.1.1	Osciloscopio	63
4.1.2	Multímetro.....	65
4.2	Presupuesto.....	65
CONCLUSIONES.....		67
RECOMENDACIONES.....		68
GLOSARIO		69
BIBLIOGRAFIA.....		70
ANEXOS.....		72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Especificaciones Técnicas del convertor de HDMI a RCA.	20
Tabla 1-2:	Descripción del sensor de corriente ACS712-20A.....	36
Tabla 2-2:	Cuadro Comparativo de Modelos Arduino.....	38
Tabla 3-2:	Descripción del adaptador convertor HDMI para RCA.....	42
Tabla 4-2:	Descripción del modulador de radiofrecuencia.....	43
Tabla 5-2:	Descripción del valor de la carga 1.....	44
Tabla 6-2:	Descripción del valor de la carga 2.....	44
Tabla 1-3:	Datos del sistema adaptador de impedancias antes de conectar las cargas.....	48
Tabla 2-3:	Descripción de las pruebas de transmisión.....	48
Tabla 3-3:	Datos Obtenidos en el cable coaxial RG-6 en las prueba realizadas.....	49
Tabla 4-3:	Características del conector F.....	49
Tabla 5-3:	Descripción de los diferentes componentes en las pruebas de recepción.....	52
Tabla 6-3:	Datos obtenidos a través de los diferentes componentes de dispositivos conectados para la verificación del consumo de corriente en el nodo 1.....	53
Tabla 7-3:	Datos obtenidos a través de los diferentes componentes de dispositivos conectados para la verificación del consumo de corriente en el nodo 2.....	55
Tabla 8-3:	Datos obtenidos en las pruebas realizadas en la carga 3.....	56
Tabla 9-3:	Datos obtenidos a través de los diferentes componentes de dispositivos conectados para la verificación del consumo de corriente en el nodo 3.....	57
Tabla 10-3:	Variación de corriente de carga 1.....	58
Tabla 11-3:	Variación de corriente de carga 1, utilizando el CCI-R.....	59
Tabla 12-3:	Obtención del error absoluto.....	59
Tabla 13-3:	Variación de corriente de carga 2.....	61
Tabla 14-3:	Variación de corriente de carga 2 utilizando el CCI-R.....	62
Tabla 15-3:	Obtención del Error Absoluto.....	62
Tabla 16-3:	Presupuesto.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Espectro de frecuencia	7
Figura 2-1:	Línea de transmisión	8
Figura 3-1:	Circuito equivalente inductancia y capacitancia	9
Figura 4-1:	Incremento de la longitud en una línea de transmisión	9
Figura 5-1:	Onda incidente y reflejada	12
Figura 6-1:	Incremento de la longitud en una línea de transmisión	14
Figura 7-1:	Acople capacitor- inductor.....	14
Figura 8-1:	Acople inductor capacitor	15
Figura 9-1:	Carta Smith	16
Figura 10-1:	Cable par trenzado	17
Figura 11-1:	Cable Gemelo.	18
Figura 12-1:	Cable Coaxial	18
Figura 13-1:	Placa Arduino	21
Figura 14-1:	Sensor de corriente ACS712 20 A	22
Figura 15-1:	Osciloscopio Digital	23
Figura 16-1:	Multímetro	24
Figura 17-1:	Pinza Amperimétrica	25
Figura 1-2:	Diagrama de bloques del sistema adaptador de impedancia.....	27
Figura 2-2:	Circuito adaptador de impedancia con elementos concentrados	28
Figura 3-2:	Obtención de L y C de la carga 1 utilizando la carta de Smith.....	30
Figura 4-2:	Obtención de L y C de la carga 1 utilizando el Software Amanogawa	31
Figura 5-2:	Obtención de L y C de la carga 2 utilizando la carta de Smith.....	33
Figura 6-2:	Obtención de L y C de la carga 2 utilizando el Software Amanogawa	34
Figura 7-2:	Esquema del circuito transmisor del circuito adaptador de impedancias (AI)...	34
Figura 8-2:	Sensor de corriente ACS712	35
Figura 9-2:	Plataforma Arduino, Arduino Nano	37
Figura 10-2:	Esquema general del circuito controlador de impedancias.....	39
Figura 11- 2:	Implementacion del controlador de impedancias	40
Figura 12-2::	Implementacion del sistema adaptador de impedancias	40
Figura 13-2:	Interfaz en Visual Studio	41
Figura 14-2:	Adaptador conversor HDMI para RCA video	41
Figura 15-2:	Transmisor de Radiofrecuencia.....	42
Figura 16-2:	Transmisor del sistema adaptador de impedancias.....	43
Figura 1-3:	Sistema de la línea de transmisión con tres nodos T1, T2, T3	46
Figura 2-3:	Esquema general de la línea de transmisión.....	46

Figura 3-3:	Diagrama de Bloques de CCI.....	47
Figura 4-3:	Transmisión con el sistema adaptador de impedancia.....	47
Figura 5-3:	Conector F	50
Figura 6-3:	Cable coaxial RG6.....	50
Figura 7-3:	Cable coaxial construido.....	50
Figura 8-3:	Esquema receptor del circuito adaptador de impedancias	51
Figura 9-3:	Receptor del circuito adaptador de impedancias	51
Figura 10-3:	Señal recibida en la TV1	52
Figura 11-3:	Datos de placa de la TV1	53
Figura 12-3:	Señal recibida en la TV2.....	54
Figura 13-3:	Datos de placa de la TV2	54
Figura 14-3:	Señal recibida en la TV3.....	55
Figura 15-3:	Datos de placa TV3.....	56
Figura 16-3:	Aumento de cargas en el nodo 3	57
Figura 17-3:	Verificación del valor de corriente en el nodo 1	58
Figura 18-3:	Visualización en el nodo 1	60
Figura 19-3:	Verificación del valor de corriente en el nodo 2	60
Figura 20-3:	Visualización de los datos en el nodo 2	61
Figura 21-3:	Señal distorsionada, fuera de rango.....	63
Figura 22-3:	Comportamiento de la señal en el nodo 1	64
Figura 23-3:	Comportamiento de la señal en el nodo 2	64
Figura 24-3:	Comportamiento de la señal en el nodo 3	64
Figura 25-3:	Multímetro, obteniendo valores de corriente.....	65

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1.....	8
Ecuación 2-1.....	8
Ecuación 3-1.....	8
Ecuación 4-1.....	8
Ecuación 5-1.....	9
Ecuación 6-1.....	10
Ecuación 7-1.....	10
Ecuación 8-1.....	10
Ecuación 9-1.....	10
Ecuación 10-1.....	10
Ecuación 11-1.....	10
Ecuación 12-1.....	10
Ecuación 13-1.....	11
Ecuación 14-1.....	11
Ecuación 15-1.....	11
Ecuación 16-1.....	11
Ecuación 17-1.....	11
Ecuación 18-1.....	12
Ecuación 19-1.....	12
Ecuación 20-1.....	12
Ecuación 21-1.....	12
Ecuación 22-1.....	12
Ecuación 23-1.....	13
Ecuación 24-1.....	13
Ecuación 25-1.....	15
Ecuación 26-1.....	15
Ecuación 27-1.....	15
Ecuación 28-1.....	15
Ecuación 1-2.....	27
Ecuación 2-2.....	27
Ecuación 3-2.....	28
Ecuación 4-2.....	31
Ecuación 5-2.....	36
Ecuación 6-2.....	36

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A. CODIGO FUENTE DEL CONTROLADOR DE IMPEDANCIAS	72
ANEXO B. CARACTERISTICAS DEL CABLE GEMELO	78
ANEXO C. DATASHEET SENSOR DE CORRIENTE ACS712	79
ANEXO D. PLACA CONTROLADOR DE IMPEDANCIAS, TRANSMISOR	84
ANEXO E. PLACA CONTROLADOR DE IMPEDANCIAS, RECEPTOR	85

RESUMEN

Se construyó un sistema de adaptación de impedancias para la transmisión de audio, video y datos a través de líneas de potencia, focalizada principalmente en las redes de distribución en el interior de un hogar. Para el acoplamiento de impedancias se utilizó el método de elementos concentrados que consiste en capacitores e inductores. Para proceder con esta implementación se realizó un análisis de las características, propiedades y estructuración de la red eléctrica, adaptación de impedancias con elementos concentrados y una revisión de la tecnología Power Line Telecommunication (PLT). Después de haber realizado un análisis de las cargas a soportar en la línea de transmisión se obtuvo el rango de impedancias del sistema a transmitir. Luego se procedió a obtener los valores de inductancia y capacitancia utilizando la carta de Smith para poder acoplar a la línea de transmisión. Luego utilizando la plataforma Arduino se construyó el controlador de impedancias con los cuales entre el adaptador de impedancia y el controlador de impedancias se integra el circuito controlador de impedancias transmisor y receptor. Posteriormente, se procedió a realizar la implementación del sistema adaptador de impedancias con el rango de impedancias de 370Ω a 821Ω obtenido anteriormente que consta de tres bloques: un bloque de entrada que integra un computador, un DVD, el conversor, el transmisor propiamente dicho y el circuito transmisor de impedancia, el bloque de salida está conformado por el circuito controlador de impedancias y monitor para la recepción y visualización de los datos y por último el tercer bloque es el medio de transmisión que conforma el PLT. Este sistema adaptador de impedancia puede ser de referencia para la implementación de PLT con mayor cantidad de cargas conectadas.

Palabras Claves: <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <TECNOLOGÍA DE LAS COMUNICACIONES>, <POWER LINE TELECOMMUNICATION (PLT)>, >, <LÍNEAS DE POTENCIA>, <SISTEMA ADAPTADOR DE IMPEDANCIAS>, <CORRIENTE Y VOLTAJE>, <RUIDO Y ATENUACIÓN>

SUMMARY

Impedance System was made for the transmission of audio, video and data over power lines, focused primarily on the distribution networks within a home was built. For impedance matching method lumped elements consisting of capacitors and inductors used. To proceed with this implementation an analysis of the characteristics, properties and structure of the grid, impedance matching with lumped elements and a review of the Power Line Telecommunication (PLT) technology was performed. After making an analysis of the loads to be supported in the transmission line impedance range broadcasting system it was obtained. Then he proceeded to obtain the values of inductance and capacitance using the Smith chart to be coupled to the transmission line. Then using the Arduino platform controller impedances which was built between the impedance adapter and driver impedance driver circuit impedance transmitter and receiver is integrated. Subsequently, we proceeded to perform adapter implementation system impedances with the range of impedances $370\ \Omega$ to $821\ \Omega$ previously obtained consisting of three blocks: an input block that integrated a computer, a DVD, the converter, the transmitter itself said transmitter circuit and the impedance, the output block consists of the driver circuit impedances and monitor for receiving and displaying data and finally the third block is the transmission medium forming the PLT. This adapter system reference impedance may be to implement as many PLT with connected loads.

Keywords: <TECHNOLOGY AND SCIENCE ENGINEERING>, <TECHNOLOGY COMMUNICATION>, <POWER LINE TELECOMMUNICATION (PLT)>, >, <POWER LINES>, <SYSTEM IMPEDANCE MATCHING>, <CURRENT AND VOLTAGE>, <NOISE AND ATTENUATION>

INTRODUCCIÓN

PLT (Power Line Telecommunication) es una tecnología que permite ofrecer servicios de telecomunicaciones de banda ancha a través de la red eléctrica. Aunque no es tan reciente como puede suponerse, PLT ha sido objeto de gran atención en los últimos años, y el hecho de que en la actualidad se estén desarrollando pruebas y despliegues más o menos extensos en cerca de ochenta países es un síntoma claro de su potencial y del interés que despierta. (González y García, 2004, www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/68-69/enfoque4.pdf)

En el presente proyecto se construyó un sistema adaptador de impedancias para la transmisión de audio, video y datos a través de las líneas de potencia PLT, para lograrlo se procedió a investigar sobre el avance de la tecnología PLT, el modulador de radiofrecuencia, los componentes necesarios para la adaptación de impedancias, el sensor que monitorea los niveles de corriente, una plataforma Arduino que consiste de un hardware de uso libre, para procesar los datos obtenidos por el sensor, que sirve para determinar el rango de impedancias, donde las cargas se acoplan de manera adecuada, una vez pasado este rango la señal se atenuara de forma visible.

Para lograr el objetivo planteado se utilizó una metodología analítica llevando a cabo las siguientes actividades: investigación bibliográfica, diseño del sistema, implementación de un sistema prototipo, evaluación de resultados y documentación. El proyecto es un aporte académico dirigido para todos los estudiantes de carreras tecnológicas que se interesen por la tecnología PLT.

ANTECEDENTES

En los años 50 se había creado un sistema que permitía a las empresas de energía controlar el consumo, el encendido del alumbrado público y el valor de las tarifas eléctricas por medio de una señal de baja frecuencia (100 Hz) que viajaba a través de los cables de la red en un solo sentido. A mediados de los años 80 se iniciaron investigaciones sobre el empleo de los cables eléctricos como medio de transmisión de datos y a fines de esa década ya se conseguía transmitir información en ambas direcciones. (Transmisión de datos por la red eléctrica, <http://www.victorgarcia.org/files/PLC-v2.0RC.pdf>)

En 1950 se empezó con una frecuencia de 10Hz y 10kW de potencia, con comunicación en un solo sentido, aplicándose para el control de líneas eléctricas y para el control remoto de relés. A mediados de 1980 se inició la investigación sobre el uso de la red eléctrica para soportar la transmisión de datos, en bandas de entre 5 – 500kHz, siempre en una sola dirección. Más adelante,

las empresas eléctricas empezaron a utilizar sus propias redes para la transmisión de datos de modo interno. En 1997 se realizaron las primeras pruebas para la transmisión bidireccional de señales de datos a través de la red eléctrica y el inicio de la investigación de Ascom (Suiza) y Norweb (Reino Unido) En 2000 se llevaron a cabo las primeras pruebas en Francia por EDF R&D y Ascom (Serna, 2011, p.62, http://www.redeweb.com/_txt/676/62.pdf)

La tecnología PLT se implementó principalmente en Japón, Australia, Inglaterra, España, las pruebas realizadas no fueron tan exitosas, ya que existían diversos factores que atenuaban la señal transmitida por la red eléctrica, algunos de estos factores fueron el ruido, el cual era provocado por la interferencia generadas por diversas bandas que se encuentran en el espectro electromagnético, incitando así a seguir con un estudio profundo para mejorar la transmisión y seguir utilizando la red eléctrica como medio de transmisión.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo mejorará la transmisión de audio, video y datos seleccionando adecuadamente la impedancia de adaptación entre el sistema adaptador de impedancias y la línea de transmisión?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál ha sido los beneficios e impacto que ha tenido la tecnología PLT en los últimos años?

¿Cómo implementar un sistema prototipo de control para que trabaje en un rango determinado de cargas?

¿Qué características técnicas y funcionales se requieren para implementar un sistema prototipo de control mediante líneas de potencia?

¿Cómo conectar el sistema prototipo a la línea de transmisión?

¿Qué requerimientos se necesita para implementar el sistema prototipo a la línea de transmisión?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En la actualidad se requiere enviar información por un mismo medio de transmisión, en nuestro caso, para la transmisión de audio, video y datos, ya que con la realización de este trabajo se busca efectuar una caracterización de las redes eléctricas de baja tensión a través de un sistema adaptador de impedancias. Es por eso que en el presente proyecto se desea trabajar con tecnología PLT ya que es un servicio estandarizado a nivel global, por ser un servicio público y de libre acceso.

Con la construcción del sistema adaptador de impedancias se podrá transmitir audio, video y datos por líneas de potencia PLT y se lo aplicará en un laboratorio o en una casa siempre y cuando se encuentre dentro del mismo circuito ramal.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

El presente trabajo tiene como finalidad la implementación de un sistema de adaptación de impedancias para que trabaje en un rango de carga seleccionado, el mismo que se lo aplicará en el interior de una casa, este dispositivo nos permitirá controlar el rango de carga con las cuales vamos a trabajar para transmitir audio, video y datos por líneas de potencia PLT, utilizando un DVD, un equipo transmisor, un equipo terminal y el sistema adaptador de impedancias.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Construir un sistema de adaptación de impedancias para la transmisión de audio, video y datos a través de líneas de potencia (PLT).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar la carga que va a estar conectada en la línea de transmisión PLT para determinar el rango del sistema adaptador de impedancias.

- Diseñar el circuito controlador de impedancias para que trabaje en un rango seleccionado y después construirlo.
- Diseñar el adaptador de impedancias para conectar en la entrada y salida de la línea de potencia PLT y después construirlo.
- Acoplar el sistema de adaptación de impedancias con el circuito controlador para que sea conectado en la entrada y salida de la línea de potencia.
- Implementar el sistema de adaptación de impedancias para transmitir audio, video y datos por la línea de potencia PLT, utilizando un DVD, un computador, un equipo transmisor y un equipo terminal.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Red de suministro de energía eléctrica

1.1.1 Definición

La red de suministro de energía eléctrica es la red que proporciona electricidad desde los proveedores hasta el consumidor final, esta red está conformada por tres elementos importantes: la planta generadora, la línea de transmisión y el transformador que reduce el voltaje para que las líneas de transmisión puedan entregar energía al usuario. La red de suministro de energía eléctrica cuenta con componentes de control, seguridad y protección para el adecuado funcionamiento de la red eléctrica, y así poder llegar a su destino.

Las líneas de energía eléctrica son una alternativa muy interesante para utilizarlas como medio de comunicación. Esta es la razón por la cual los servicios de transmisión de datos de alta velocidad que quieran utilizar este medio deben cumplir ciertos requerimientos, los mismos pueden ser: de compatibilidad electromagnética, efectos del medio, etc.

1.1.2 Red domiciliaria

En el presente proyecto se utiliza la red de baja tensión, en esta red las líneas transportan energía con voltaje 110, en esta red varios abonados están conectados en la misma fase es decir constituye un medio compartido, es así que en Ecuador 20 a 30 abonados por cada transformador, dependiendo de su capacidad.

Cabe mencionar que las redes eléctricas en sus inicios no fueron diseñadas ni utilizadas para el transporte de información con gran ancho de banda, ya que esta red es un medio muy ruidoso, así como la variación de frecuencia, además no han sido diseñadas con precauciones para las radiaciones que puedan producir la transmisión a altas frecuencias.

1.1.3 Elementos de bajo voltaje

Cuando se menciona red de bajo voltaje, se habla de la red interna del abonado. El usuario final es el responsable de la distribución eléctrica dentro de su propiedad, el bajo voltaje esta entre 110 y 140 voltios

En bajo voltaje, la impedancia de una línea eléctrica está determinada por la corriente de carga. La impedancia no es constante ya que varía durante todo el día según el número de dispositivos eléctricos que estén conectados, de igual manera hay una variación cuando los dispositivos son desconectados, por esta razón se produce una variación de corriente, lo cual induce a tener atenuación, problema que no muestran los canales propios de telecomunicaciones.

1.2 Tecnología PLT

1.2.1 Definición

Como lo menciona Triviño, R (2006, <http://repositorio.espe.edu.ec>), PLT es el acrónimo de Power Line Telecommunication que traducido al español es Telecomunicación por la Línea Eléctrica, también conocida por: PLC (Power Line Comunicaciones), DPL (Digital Power Line) en sus inicios o bien como es llamada en Estados Unidos, BPL (Broadband Power Line) es una tecnología que permite ofrecer servicios de telecomunicación a través de la red de suministro de energía eléctrica.

La idea principal de PLT es utilizar la infraestructura de la red eléctrica como medio de transmisión de audio video y datos.

1.2.2 Transmisión de datos a través de PLT

La transmisión de datos mediante líneas de potencia, trata fundamentalmente de la transmisión de audio, video y datos utilizando la red eléctrica, lo fundamental es utilizar una red eléctrica ya desarrollada e implementada, para convertirla en una guía de onda de alcance en el hogar.

Gracias a estudios realizados se ha logrado que el usuario pueda darle un uso adicional a la red eléctrica como medio de transmisión de una manera satisfactoria.

1.2.3 Parámetros técnicos

En la concepción y diseño de los PLC se hizo necesario tener en cuenta el medio de transmisión de la señal utilizado. Dicho medio, el cableado de distribución eléctrica, que no está diseñado realmente para la transmisión de información y ya tiene presente una señal continua de alto voltaje y potencia: la onda de 200 V y 50 Hz presente en todos los enchufes. (Pérez, Y, 2013, p. 33, <http://dSPACE.esPOCH.edu.ec>)

Para analizar los parámetros técnicos, se considera como líneas de transmisión a dos cables de cobre paralelos, a partir de este modelo se analizan las características principales y secundarias, el ruido que puede causar, la interferencia y el efecto de la frecuencia.

Como se muestra en la *Figura 1-1*, existe una reserva del espectro de frecuencia de 4MHz hasta 86MHz que se maneja para aplicaciones de PLT,

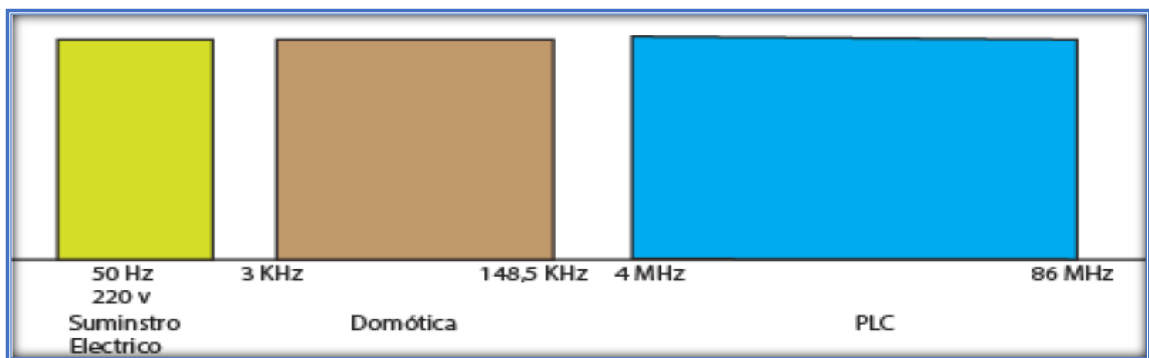


Figura 1-1: Espectro de frecuencia

Fuente: (Pérez, Y, 2013, p.33, <http://dSPACE.esPOCH.edu.ec>)

1.3 Líneas de Transmisión

Una línea de transmisión es un sistema de conductores metálicos para transferir energía eléctrica desde un punto a otro. En forma más específica, confina la energía electromagnética a una región del espacio limitada por el medio físico que constituye la propia línea, se pueden utilizar para transmitir señales de corriente continua o corriente alterna. (Ortega, V, p.16)

Las líneas de transmisión son enlaces importantes en cualquier sistema de comunicación guiado. Son más que tramos de alambre o cable. Sus características eléctricas son sobresalientes, y se deben igualar a las del equipo para obtener una comunicación adecuada.

La línea de transmisión se determina por las propiedades eléctricas que presenta, para lo cual se designan como parámetros primarios de una línea los siguientes aspectos: resistencia, conductancia, inductancia y capacitancia

En la *Figura 2-1* se considera una línea de transmisión formada por dos conductores paralelos dirigidos según el eje z , cuando por el conductor fluye una corriente continua i se origina un campo magnético que rodea el conductor, debido a este proceso existirá un almacenamiento de energía magnética que rodea la línea, dado por la *Ecuación 1-1*

$$U_m = \frac{1}{2} L i^2 \quad \text{Ecuación 1-1}$$

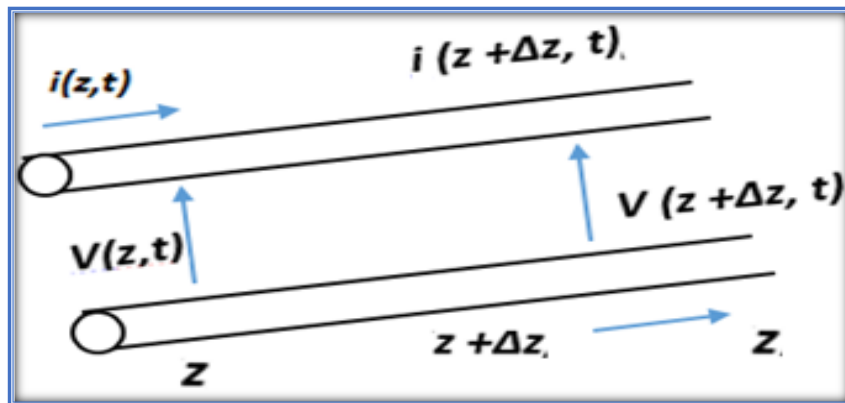


Figura 2-1: Línea de transmisión
Fuente: (Ortega, V, p: 16)

Para obtener el valor de la inductancia L por unidad de longitud, dado en la *Ecuación 1-1*, se procede de la siguiente manera. A cada término se multiplica por la variación de distancia ΔZ , indicado en la *Ecuación 2-1*

$$U_m \Delta Z = \frac{1}{2} L \Delta Z i^2 \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Despejando el término $L \Delta Z$, tenemos la *Ecuación 3-1*

$$L \Delta Z = \frac{U_m \Delta Z}{\frac{1}{2} i^2} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Si se aplica un voltaje entre los hilos, surgirá una energía eléctrica almacenada en el espacio que rodea la línea como se muestra en la ecuación

$$U_e = \frac{1}{2} c v^2 \quad \text{Ecuación 4-1}$$

Multiplicando por unidad de longitud (ΔZ) los dos términos de la *Ecuación 4-1*, despejamos la capacitancia por unidad de longitud cuyo resultado se encuentra en la *Ecuación 5-1*

$$C\Delta Z = \frac{U_e\Delta Z}{\frac{1}{2}V^2} \quad \text{Ecuación 5-1}$$

Con la *Ecuación 1-1* y la *Ecuación 2-1* se representa el circuito equivalente de la línea de transmisión, mostrado en la *Figura 3-1*.

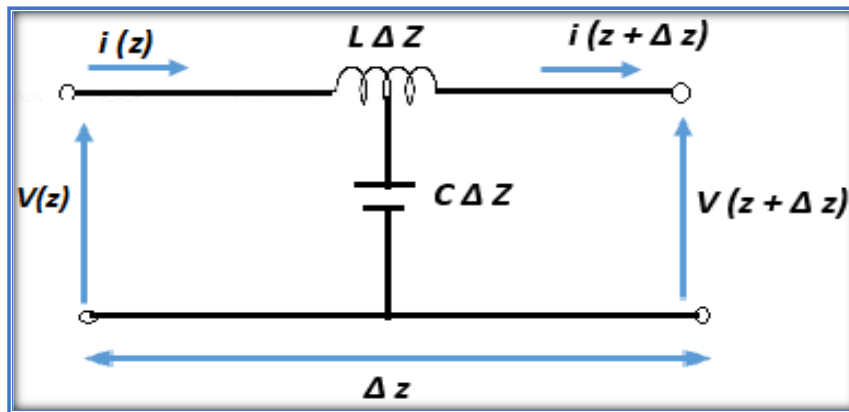


Figura 3-1: Circuito equivalente inductancia y capacitancia
Fuente: (López, F, 2011)

1.3.1 Obtención de la impedancia característica de la línea de transmisión

El circuito de la *Figura 3-1* podemos representar de una mejor manera en el circuito de la *Figura 4-1*.

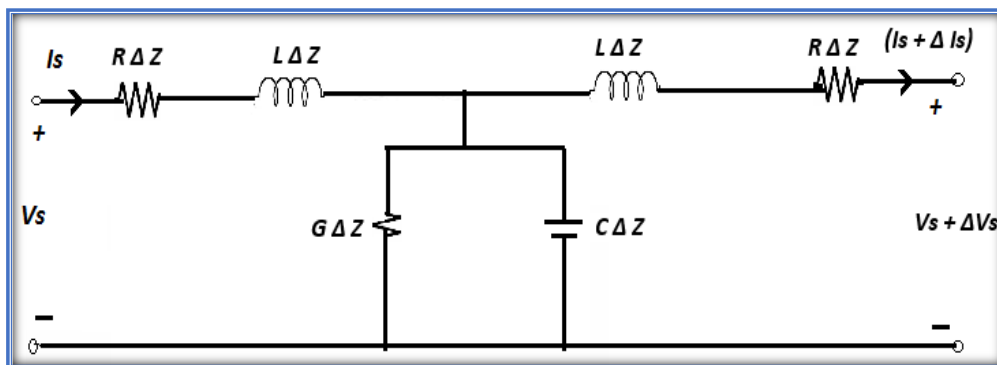


Figura 4-1: Incremento de la longitud en una línea de transmisión
Fuente: López, F, 2011

Dado las características básicas de la propagación de las ondas, se considera el caso de una variación sinusoidal en el tiempo y se usara la notación para cantidades complejas.

La diferencia de potencial V entre conductores de líneas de transmisión, es en general la función del espacio y del tiempo $V_{(z,t)}$, como se muestra en la *Ecuación 6-1*.

$$V_{(z,t)} = V_0 \cos(\omega t - \beta z + \varphi) \quad \text{Ecuación 6-1}$$

La *Ecuación 6-1* representado en formato exponencial, se encuentra en la *ecuación 7-1*

$$V_{(z,t)} = \text{Real} (V_0 e^{j(\omega t - \beta z + \varphi)}) \quad \text{Ecuación 7-1}$$

$$V_{(z,t)} = \text{Real} (V_0 e^{j\omega t} e^{-j\beta z} e^{j\varphi}) \quad \text{Ecuación 8-1}$$

Eliminando el Real y suprimiendo $e^{j\omega t}$, se transforma el voltaje en un fasor que será indicado por un subíndice s , que está representado en la *Ecuación 9-1*.

$$V_s = V_0 e^{j\varphi} e^{-j\beta z} \quad \text{Ecuación 9-1}$$

Aplicando la ley de voltajes de Kirchoff en el lazo externo del circuito de la *Figura 4-1* tenemos:

$$V_s = \left(\frac{1}{2} R\Delta Z + j\frac{1}{2} \omega L\Delta Z\right) I_s + \left(\frac{1}{2} R\Delta Z + j\frac{1}{2} \omega L\Delta Z\right) (I_s + \Delta I_s) + V_s + \Delta V_s \quad \text{Ecuación 10-1}$$

Reduciendo términos y despejando ΔV_s , se obtiene:

$$\frac{\Delta V_s}{\Delta Z} = -(R + j\omega L)I_s + \left(\frac{1}{2} R + j\frac{1}{2} \omega L\right)\Delta I_s \quad \text{Ecuación 11-1}$$

En la *Ecuación 11-1* tomando el limite cuando ΔZ y ΔI_s tienden a 0, como resultado se tiene la *ecuación 12-1*.

$$\frac{dV_s}{dt} = -(R + j\omega L)I_s \quad \text{Ecuación 12-1}$$

Despreciando efectos del segundo orden se puede aproximar el voltaje a través de la rama principal como V_s y se obtiene una segunda ecuación representada como *Ecuación 13-1*

$$\frac{dI_s}{dt} = -(G + j\omega C) V_s \quad \text{Ecuación 13-1}$$

La Ecuación 12-1 dividido para la Ecuación 13-1, se obtiene:

$$\frac{V_s^2}{I_s^2} = \frac{R+j\omega L}{G+j\omega C} \quad \text{Ecuación 14-1}$$

Sacando raíz cuadrada a ambos términos obtenemos la Ecuación 15-1

$$\frac{V_s}{I_s} = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \quad \text{Ecuación 15-1}$$

$\frac{V_s}{I_s}$ es igual a la impedancia característica (Z_c) de la línea de transmisión. La Ecuación 16-1 representa la impedancia característica con pérdidas.

$$Z_c = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \quad \text{Ecuación 16-1}$$

Si $R = 0$ y $G = 0$, se obtiene la impedancia característica de la línea de transmisión sin pérdidas, expresada Ecuación 17-1.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{Ecuación 17-1}$$

1.3.2 Onda Incidente y refleja

Si la línea de transmisión es infinita, hacia la derecha, solo existirá onda incidente ya que la onda lanzada por el generador continuará propagándose indefinidamente sin nada que pueda excitar la onda reflejada. Lo mismo ocurre para una línea de longitud finita que esté terminada de forma que toda la energía de la onda incidente se consuma en la carga. En la Figura 5-1 se puede apreciar la onda incidente y reflejada. (Ortega,V. p:27)

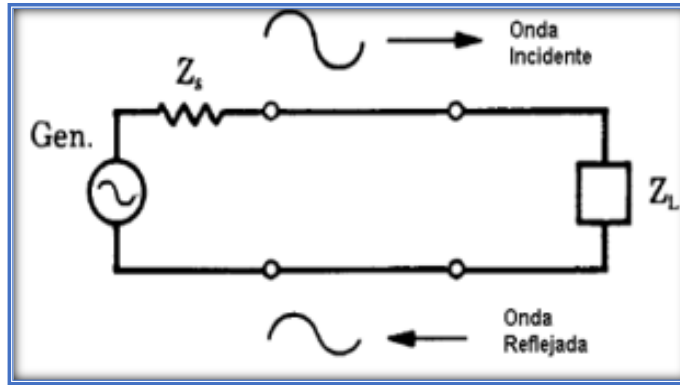


Figura 5-1: Onda incidente y reflejada
Fuente: (Ortega, V, p.46)

Para obtener el voltaje y la intensidad en cualquier punto de la línea de transmisión, se utilizan la Ecuación 18-1 y la Ecuación 19-1 respectivamente.

$$V = V^+ e^{jkz} + V^- e^{-jkz} \quad \text{Ecuación 18-1}$$

$$i = \frac{1}{Z_0} [V^+ e^{jkz} - V^- e^{-jkz}] \quad \text{Ecuación 19-1}$$

1.3.3 Coeficiente de reflexión

El coeficiente de reflexión se define como la relación entre los voltajes reflejados e incidentes en la carga. El coeficiente de reflexión está representado en la Ecuación 20-1

$$Q_L = \frac{V^-}{V^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \text{Ecuación 20-1}$$

El coeficiente de reflexión en cualquier punto de la línea de transmisión está definido como la relación entre los voltajes incidente y reflejado en dicho punto, mostrado en la Ecuación 21-1 y la Ecuación 22-1

$$Q(z) = \frac{V^- e^{-jkz}}{V^+ e^{jkz}} = e^{-2jkz} \quad \text{Ecuación 21-1}$$

$$Q(z) = |Q_L| e^{j(\varphi_L - 2kz)} \quad \text{Ecuación 22-1}$$

1.3.4 Coeficiente de onda estacionaria

El coeficiente de onda estacionaria (S), es una indicación de la amplitud de la onda estacionaria y al mismo tiempo de la magnitud de desadaptación entre la línea y la carga. (Ortega, V, p. 24)

Mostrado en la *Ecuación 23-1*, como la relación entre las magnitudes de los voltajes máximos y mínimos.

$$S = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{i+|Q_L|}{i-|Q_L|} \quad \text{Ecuación 23-1}$$

En la *Ecuación 24-1* se muestra la expresión de coeficiente de onda estacionaria, que depende de la impedancia característica de la línea de transmisión, de la impedancia de carga y de la distancia del punto de la carga.

$$Z(z) = Z_0 \frac{Z_L \cos kz + jZ_0 \operatorname{sen} kz}{Z_0 \cos kz + jZ_L \operatorname{sen} kz} \quad \text{Ecuación 24-1}$$

1.4 Adaptación de impedancias

Cuando se habla de adaptación de impedancias, se trata que la impedancia de la señal de salida sea igual a la impedancia de entrada, así de esta forma las impedancias están emparejadas.

La importancia de este proceso radica en la necesidad de evitar pérdidas innecesarias de potencia, de mejorar la razón de señal a ruido del sistema (SNR) y reducir los errores tanto en amplitud como en fase de un sistema.

Las razones que se aconsejan la adaptación son numerosas. La más importante es conseguir la máxima transferencia de energía del generador a la carga de forma que toda la potencia disponible del generador se transmita a la carga. En la *Figura 6-1* se muestra el circuito adaptador de impedancias

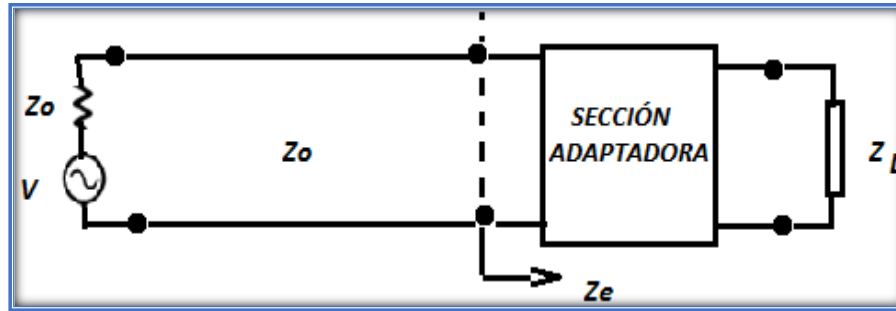


Figura 6-1: Incremento de la longitud en una línea de transmisión
Fuente: (Ortega, V, p.33)

1.5 Adaptación de impedancias con elementos concentrados

El desarrollo de los circuitos integrados de microondas utiliza normalmente la adaptación de impedancias mediante elementos concentrados de microondas, bobinas espirales planas y condensadores cerámicos en miniatura. (Ortega, V, p. 45)

En la *Figura 6-1* se muestra un circuito de adaptación de impedancias con elementos concentrados.

Se utilizan elementos con parametros concentrados como capacitancias e inductancias porque poseen elementos reactivos a partir de líneas de transmisión esto genera un mejor acoplamiento y así evitar pérdidas

Los casos que vamos analizar son los siguientes cuando:

- Cuando en la red de acople la carga está en paralelo con la inductancia y en serie con la capacitancia, así como se muestra en la *Figura 7-1*

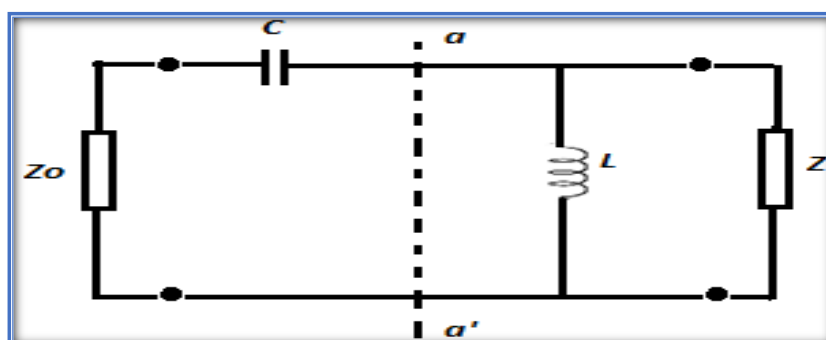


Figura 7-1: Acople capacitor-inductor
Fuente: (Ortega, V, p.46)

Para este acoplamiento se utiliza la *Ecuación 25-1* y la *Ecuación 26-1*, para obtener el valor del capacitor e inductor.

$$C = \frac{-1}{2\pi f X Z_0} \quad \text{Ecuación 25-1}$$

$$L = \frac{-Z_0}{2\pi f b} \quad \text{Ecuación 26-1}$$

- Cuando en la red de acople la carga está en paralelo con la conductancia y en serie con la inductancia, como se indica en la *Figura 8-1*

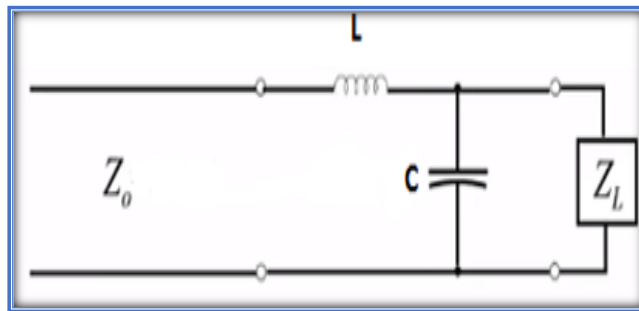


Figura 8-1: Acople inductor capacitor
Fuente: (Ortega, V, p.46)

Para este acoplamiento se utiliza la *Ecuación 27-1* y la *Ecuación 28-1* para obtener el valor del capacitor e inductor.

$$C = \frac{-1}{2\pi f X Z_0} \quad \text{Ecuación 27-1}$$

$$L = \frac{-Z_0}{2\pi f b} \quad \text{Ecuación 28-1}$$

1.5 Carta Smith

La carta de Smith como se observa en la *Figura 9-1* se utiliza, entre otros usos, para calcular la impedancia de entrada de una línea de transmisión a partir de la longitud de la línea con relación a la frecuencia de la señal sinusoidal que circula por esta, y de su impedancia de carga, o, en un nivel más avanzado, para acoplar impedancias. (Xirgu, p.78, [www.exabyteinformatica.com/uoc/Fisica/Fisica_II_ES/Fisica_II_ES_\(Modulo_6\).pdf](http://www.exabyteinformatica.com/uoc/Fisica/Fisica_II_ES/Fisica_II_ES_(Modulo_6).pdf)).

1.6 Tipos de líneas de transmisión

Una línea de transmisión es un sistema de dos conductores adyacentes separados por un dieléctrico, hoy en día el mercado se encuentra una sorprendente variedad de líneas de transmisión dictada por las múltiples aplicaciones, pueden ser rígidas o flexibles, con dieléctrico de aire o dieléctricos sólidos, de perfil liso o corrugado. (Líneas de transmisión. http://www.cartagena99.com/recursos/electronica/apuntes/CH9ST_Web.pdf)

Las más utilizadas son:

1.6.1 Cable de Par Trenzado

Un cable de par trenzado como se muestra en la *Figura 10-1* es una línea de cables formados por hilos recubiertos de plata y rodeados por un aislante. Las constantes primarias del cable de par trenzado con sus parámetros eléctricos resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia, que están sujetas a variaciones con el ambiente físico como temperatura, humedad y tensión mecánica, y que dependen de las variaciones en la fabricación.

Los pares vecinos se trazan con diferente inclinación para disminuir la interferencia y de esta manera transmitir datos. (Ecured, 2016, https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana)

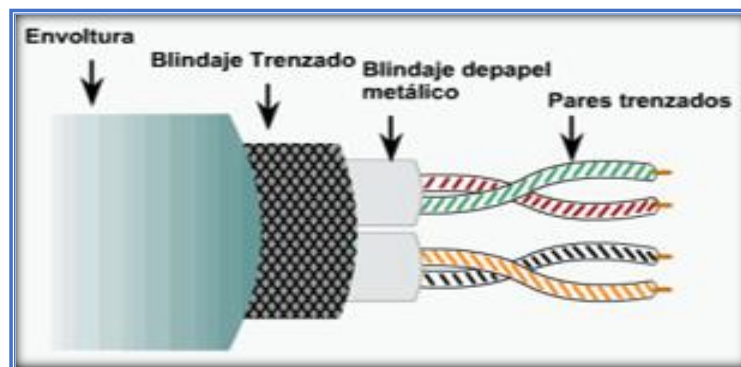


Figura 10-1: Cable par trenzado

Fuente: (Zeinos , 2011, <http://oscarituxxx.blogspot.com/2011/11/411-cable-par-trenzado.html>)

1.6.2 Cable Gemelo

Como se muestra en la *Figura 11-1* los cables gemelos son otra forma de línea de transmisión para un conductor paralelo de dos cables. Los cables gemelos frecuentemente son llamados cable de cinta. Los cables gemelos esencialmente son igual que una línea de transmisión de cable abierto, excepto que los espaciadores que están entre los dos conductores se reemplazan con un

dieléctrico sólido continuo. Los materiales dieléctricos más comunes son el teflón y el polietileno. (Telecom, p: 7, <http://www.escueladeltrabajo.net/telecom3.pdf>)



Figura 11-1: Cable Gemelo.

Fuente: (Dreamstime, <https://nl.dreamstime.com/stock-afbeeldingen-tweeling-kabel-image16446724>)

1.6.3 Cable Coaxial o Concéntrica

Las líneas de transmisión de conductores paralelos son apropiadas para las aplicaciones de baja frecuencia. El cable coaxial básico como se muestra en la *Figura 12-1* consta de un conductor interno rodeado de un material plástico, encima del plástico va una malla conductora, y todo va cubierto o una capa de caucho que lo cubre del exterior.

Esencialmente, hay dos tipos de cables coaxiales: líneas rígidas llena de aire y líneas sólidas flexibles. En una línea coaxial rígida de aire, el conductor central está rodeado de forma coaxial por un conductor externo tubular y el material aislante es el aire. El conductor externo físicamente está aislado y separado del conductor central por un espaciador, que generalmente está hecho de Pírex, poli estireno, o algún otro material no conductor. (Comunidad internacional de electrónicos, <http://www.forosdeelectronica.com>)



Figura 12-1: Cable Coaxial

Fuente: (Tripod, http://ramcir_cjm.tripod.com/Mvg.htm)

En un cable coaxial sólido flexible, el conductor externo estará trenzado, es flexible y coaxial al conductor central. El material aislante es un material de poli estireno sólido no conductor que

proporciona soporte, así como aislamiento eléctrico entre el conductor interno y externo. El conductor interno es un cable de cobre flexible que puede ser sólido o hueco. Los cables coaxiales rígidos llenos de aire son relativamente caros en su fabricación, y el aislante de aire debe estar relativamente libre de humedad para minimizar las pérdidas. (Comunidad internacional de electrónicos, <http://www.forosdeelectronica.com>)

Los cables coaxiales son relativamente inmunes a la radiación externa, ellos en sí irradian muy poca, y pueden operar a frecuencias más altas que sus contrapartes de cables paralelos. (Comunidad internacional de electrónicos, <http://www.forosdeelectronica.com>)

1.6.4 Pérdidas y Atenuaciones

La atenuación que presentan las líneas de transmisión son de gran interés en cuanto a la tecnología PLT, ya que una vez que la señal transmitida viaja por la línea de transmisión esta sufre pérdidas, transformándose así esta pérdida en otro tipo de energía, es por esta razón que la señal se atenúa. La pérdida de la señal será igual a la suma de todas las pérdidas o atenuaciones que ocurrieron en la línea de transmisión.

Las pérdidas en las líneas de transmisión son:

- Pérdidas en Conductores
- Pérdidas por Calentamiento del Dieléctrico
- Pérdidas por Acoplamiento

1.6.4.1 Pérdidas en Conductores

Debido a que la corriente fluye, a través de una línea de transmisión, y la línea de transmisión tiene una resistencia finita, hay una pérdida de potencia inherente e inevitable.

Esto a veces se llama pérdida del conductor o pérdida por calentamiento del conductor y es simplemente, una pérdida por calentamiento.

Para reducir las pérdidas del conductor, simplemente debe acortarse la línea de transmisión, o utilizar un cable de diámetro más grande, cuando se cambia el diámetro del cable cambia la impedancia característica y el paso de corriente por la misma. (Ecured, 2016, https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana)

1.6.4.2 Pérdidas por el calentamiento del Dieléctrico

Una diferencia de potencial, entre dos conductores de una línea de transmisión causa la pérdida de cualquier dieléctrico. Estas pérdidas dependen del espesor tipo y frecuencia, se debe tomar en cuenta que el mejor dieléctrico es el aire.

1.6.4.3 Pérdidas por acoplamiento

Este tipo de pérdidas ocurre cada vez que se hace la interconexión de diferentes líneas de transmisión debido a las características físicas y eléctricas de cada una de ellas.

1.7 Conversor Digital – Analógico

Para realizar la transformación de una señal digital a una analógica se necesita de un dispositivo tal como es el conversor de HDMI a RCA, este punto de conexión posee una fuente de alimentación interna. En la *Tabla 1-1* se visualiza las características del módulo.

Tabla 1-1: Especificaciones Técnicas del conversor de HDMI a RCA.

Entrada de señal de video	Señal HDMI
Salida de video 1	Señal (amarillo, blanco y rojo)
Peso (g)	40
Salida CVBS	PAI. NTSC C M.(NTSC-J)
Temperatura de funcionamiento	0°C a 70°C
Humedad de funcionamiento	10% a 85%
Humedad de almacenamiento	5% a 90%

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

1.8 Plataforma Arduino

Arduino es una plataforma electrónica como se puede ver en la *Figura 13-1*, se trata de una placa de código abierto basado en hardware y software fácil de usar, su trabajo es ayudar a las personas a realizar proyectos interactivos. (Arduino, 2016, <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>)

Arduino se ayuda de varios dispositivos que están disponibles en el mercado como sensores, actuadores, motores que con una programación previa hace posible desarrollar diversos proyectos útiles para la humanidad. (Arduino, 2016, <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>)

Las placas Arduino son de bajo costo y funcionan con una alimentación de 5v, para la programación de algún proyecto se utiliza el software de Arduino IDE que en su mayoría se limitan a Windows. Su programación es fácil y clara ideal para principiantes y grandes desarrolladores. Además, Arduino cuenta con una serie de modelos con diversas características acordes al proyecto que se vaya a realizar.

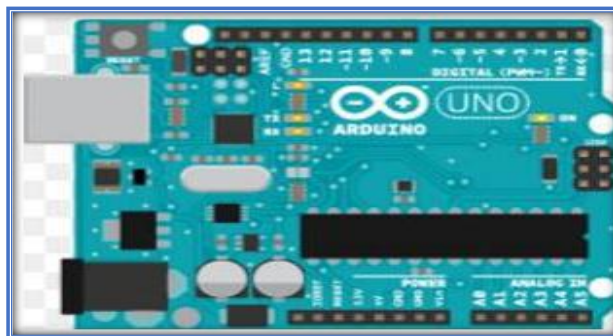


Figura 13-1: Placa Arduino

Fuente: (Arduino, 2016, <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>)

1.9 Módulo sensor de corriente ACS712 20 A

El módulo sensor de corriente con tecnología de efecto hall. Capacidad de 20 Amperios en corriente alterna y corriente directa. Este módulo basado en el circuito integrado ACS712 de Allegro MicroSystems permite medir la cantidad de corriente que fluye a través de un circuito de corriente alterna (AC) o corriente directa (DC). El método de censado es a través de un sensor de efecto hall que provee un voltaje de salida proporcional a la corriente que fluye en el circuito. El trayecto para la medida de corriente es por el interior del circuito integrado y se encuentra aislado del circuito de procesamiento. (Electronilab, 2016, <http://electronilab.co/tienda/modulo-sensor-de-corriente-acs712-30/>)

Como se muestra En la *Figura 14-1* el sensor de corriente posee las siguientes características:

1.9.1 Características

- Sensor lineal de efecto hall de bajo offset.
- Alta precisión de medida debido a la cercanía del sensor de efecto hall al elemento de paso.
- Baja resistencia del elemento de paso para una baja disipación de potencia (1.2 mΩ típico)

- Capacidad de sobrevivir a picos de corriente de hasta 5 veces la corriente nominal de operación.
- Las terminales del elemento conductor se encuentran aisladas eléctricamente (Hasta 2.1KV) por lo que evita la necesidad de aislamiento externo (optoacopladores). (Electronilab, 2016, <http://electronilab.co/tienda/modulo-sensor-de-corriente-ac712-30/>)

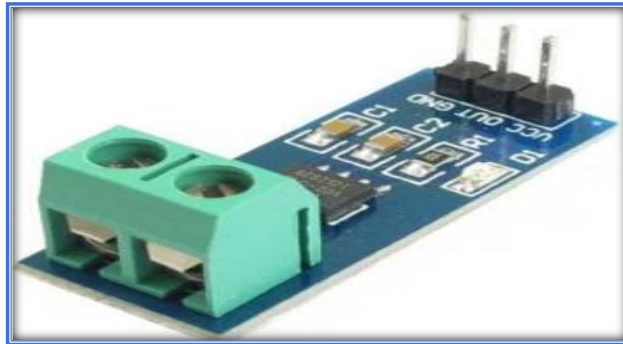


Figura 14-1: Sensor de corriente ACS712 20 A
Fuente: (Electronilab,2016)

1.9.2 Parámetros técnicos

- Voltaje de salida: Analog output 66mV / A
- Voltaje de operación: 4.5V ~ 5.5V
- Salida de voltaje sin corriente: VCC / 2
- Dimensiones PCB: 31 (mm) x14 (mm)
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- Ancho de banda 80 kHz
- Error Total Salida: 1.5% at TA = 25°C
- Resistencia interna: 1.2 m Ω
- Mínimo voltaje de aislamiento entre pines 1-4 a pines 5-8: 2.1 kVRMS
- Sensitividad de salida: 66 to 185 mV/A. (Electronilab, 2016, <http://electronilab.co/tienda/modulo-sensor-de-corriente-ac712-30/>)

1.10 Equipos de medición

Los equipos q se utilizan para las diferentes mediciones se mencionan a continuación.

1.10.1 Osciloscopio Digital

El osciloscopio digital es un dispositivo electrónico que sirve para observar el comportamiento de una señal eléctrica que varía en el tiempo, se muestra en una pantalla el eje horizontal denominada eje X que representa al tiempo, y el eje vertical representado por el eje Y que representa al voltaje como muestra en la *Figura 15-1*

1.10.2 Funciones de un osciloscopio

- Establecer directamente el tiempo y el voltaje de una señal.
- Fijar la frecuencia de una señal.
- Determinar que parte de la señal es DC y cual AC.
- Situar deterioros en un circuito.
- Calcular la fase entre dos señales.
- Determinar el ruido de una señal

Un osciloscopio puede medir un gran número de fenómenos, provisto del transductor adecuado (un elemento que convierte una magnitud física en señal eléctrica) será capaz de darnos el valor de una presión, ritmo cardiaco, potencia de sonido, nivel de vibraciones en un carro, etc. (Borrego, A, p.3, <https://www.electronicafacil.net/tutoriales/Usa-del-osciloscopio.php>)

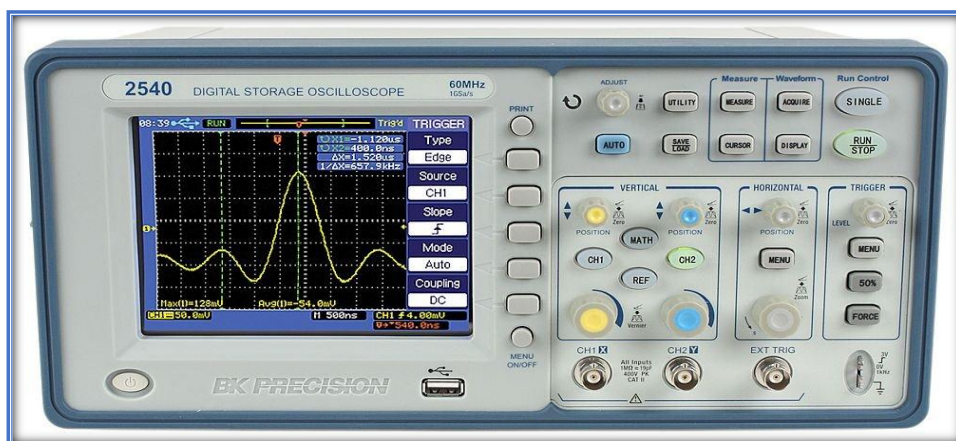


Figura 15-1: Osciloscopio Digital

Fuente: Borrego, A, p.3, <https://www.electronicafacil.net/tutoriales/Usa-del-osciloscopio.php>

1.10.3 Multímetro

Es un instrumento electrónico que sirve para medir valores de voltaje, corriente en forma continua o directa como se muestra en la *Figura 16-1*

1.10.3.1 Características

- Medición de Voltaje (C.A. y C.D.)
- Medición de Corriente en (C.A. y C.D.)
- Medición de resistencia (Ohms Ω)
- Prueba de diodos.
- Prueba de transistores (PNP, NPN)
- Prueba de señal lógica (1, 0).
- Continuidad audible.
- Capacitancia.
- Frecuencia.
- Temperatura.
- Lectura máxima de tres dígitos en pantalla. (Master, [http://media.master.com.mx/img/fichas/FICHA28\(M9508\)MULTIMETRO.pdf](http://media.master.com.mx/img/fichas/FICHA28(M9508)MULTIMETRO.pdf))



Figura 16-1: Multímetro

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

1.10.4 Pinza Amperimétrica

Esta pinza se utiliza para medir valores de corriente sin la necesidad de abrir el circuito como se muestra en *Figura 17-1*.



Figura 17-1:Pinza Amperimétrica
Fuente: Electricidad/ Electricitat, 2008

1.10.4.1 Medición de tensión

Gira el dial de elección en el medidor Fluke a "Volts AC (\tilde{V})" o "Volts DC" según corresponda a tu medida. Inserta el cable negro de prueba en el conector "COM" y el rojo en el "V". Toca el circuito a través de la carga o a través de la red eléctrica con las puntas de prueba. Ten en cuenta la lectura en la pantalla del medidor y la unidad de medida. (Flukecal, http://www.ehowenespanol.com/pinza-amperimetrica-fluke-como_24309/)

1.10.4.2 Medición de la corriente

Gira el dial de selección en el medidor Fluke a "Amps AC (\tilde{A})". Presiona la palanca en el lado del medidor Fluke para abrir las abrazaderas, luego coloca el medidor cerca de un conductor. Suelta la palanca para cerrar las abrazaderas alrededor del conductor. Tener en cuenta la lectura en la pantalla del medidor. (Flukecal, http://www.ehowenespanol.com/pinza-amperimetrica-fluke-como_24309/)

1.10.4.3 Medición de resistencia

Desconecta la alimentación del circuito a medir. Girar el dial de selección en el medidor Fluke a "Resistance (Ω)". Inserte el cable negro en el conector "COM" y el cable rojo en "V Ω ". Toca con las puntas el circuito o el componente en el que deseas medir la resistencia. Tener en cuenta la lectura en la pantalla del medidor. (Flukecal, http://www.ehowenespanol.com/pinza-amperimetrica-fluke-como_24309/)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Introducción

En el presente capítulo se muestra los pasos utilizados para el diseño del sistema prototipo, la selección de los elementos que dan forma al sistema y los caminos para integrar cada uno de los elementos y crear el sistema adaptador de impedancias y el control del mismo.

En este apartado se utiliza el método deductivo ya que permite la elaboración de un esquema general de todos los factores involucrados entre los elementos están los sensores, que evalúan los eventos, hardware libre para procesar la información, transmisor de radio frecuencia y conversor analógico digital para enviar datos hacia los dispositivos finales, y sistemas acopladores de impedancias que trabajen en el rango seleccionado.

Además, con la ayuda del método documental se toma en cuenta varias fuentes de información para el entendimiento de la estructura, funcionalidad y características del sistema adaptador de impedancias, conjuntamente con el método experimental se realiza las pruebas necesarias para establecer los valores efectivos de voltaje y corriente para determinar la impedancia de la carga, lo cual ayuda en la elección de la mejor alternativa para la construcción del sistema adaptador de impedancias.

2.2 Diseño y construcción del sistema adaptador de impedancias (SAI), transmisor y receptor

El sistema adaptador de impedancias está constituido por un circuito adaptador de impedancias y un circuito controlador de impedancias que se muestra en la *Figura 1-2*, se diseñara dos, uno para transmitir y otro para receptor, cuyo diseño son iguales, ya que el uno se lo inserta en la etapa transmisora de la línea de transmisión y el otro en la etapa receptora de la línea de transmisión.

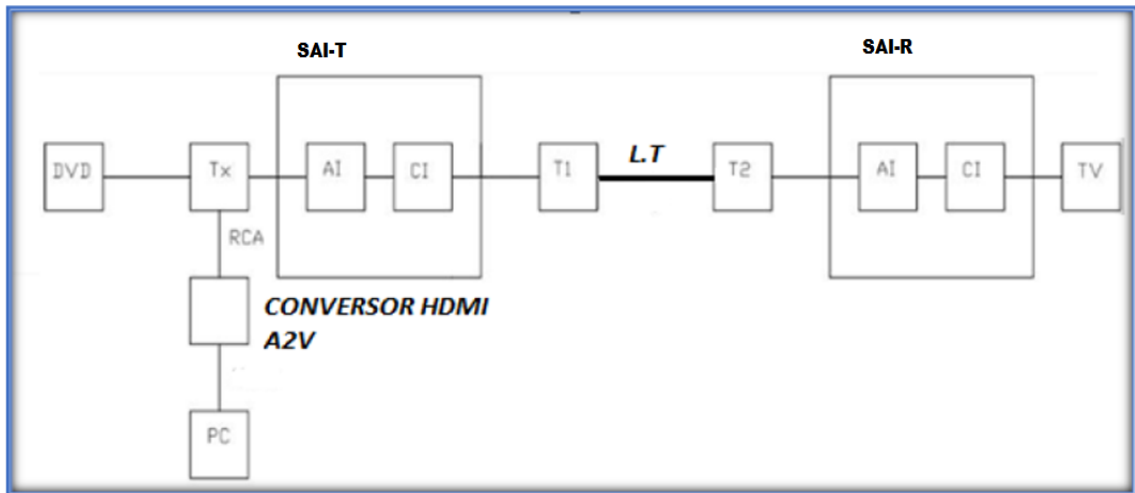


Figura 1-2: Diagrama de bloques del sistema adaptador de impedancia
 Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Donde:

SAI-T : Sistema adaptador de Impedancias, Transmisor

TX: Transmisor

AI: Adaptaor de impedancias

CI: Controlador de impedancias

L.T: Línea de transmisión (PLT)

T1 y T2: Tomacorrientes

SAI-R : Sistema adaptador de Impedancias, Receptor

2.2.1 Diseño y construcción del adaptador de impedancias (AI)

El adaptador de impedancias está constituido por elementos concentrados (capacitor inductor), tal como se muestra en el modelo del circuito de la *Figura 2-2*, cuyas formulas están representadas en la *Ecuación 1-2* y la *Ecuación 2-2*.

$$C = \frac{-1}{2\pi f x Z_0} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

$$L = \frac{-Z_0}{2\pi f b} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

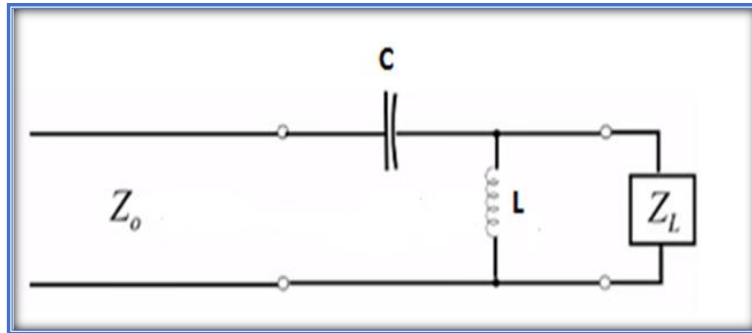


Figura 2-2: Circuito adaptador de impedancia con elementos concentrados
Fuente: Pozun, David. pa225

Para realizar los cálculos de la capacitancia y de la inductancia del capacitor e inductor, respectivamente, se utiliza la carta Smith.

- **Carga 1:** $Z_L = 348 \Omega$

La impedancia característica de la línea de transmisión Z_0 es aproximadamente igual a 75Ω y la impedancia de la carga que va a ser adaptada a la línea de transmisión es de 348Ω . El valor de impedancia de la carga, en la carta Smith se representa en formato normalizado, representado en la *Ecuación 3-2*.

$$\bar{Z}_L = \frac{Z_L}{Z_0} = \frac{348}{75} = 4.64 \quad \text{Ecuación 3-2}$$

En la carta Smith (*Figura 3-2*) se procede a calcular los valores de x y b, que están a continuación:

$$Y_L = 0.20 + 0j$$

$$\bar{Y}' = 0.20 - 0.40j$$

$$j_b = (0.058 - 0.40j) - (0.058 + 0j)$$

$$j_b = -0.40j$$

$$b = -0.40$$

$$\bar{Z}'_L = 1 + 2j$$

$$x = -2$$

Con los valores de $x = -2$ y $b = -40$ y la frecuencia de 64 MHz, se reemplaza en las ecuaciones 1-2 y 2-2

$$C = \frac{-1}{2\pi(64 \times 10^6)(-2)(75)}$$

$$C = 16,57 \text{ pF}$$

$$L = \frac{-75}{2\pi(64 \times 10^6)(-0.40)}$$

$$L = 0.466 \text{ } \mu\text{H}$$

La *Figura 3.2* representa la carta de Smith para la obtención de valores de L y C.

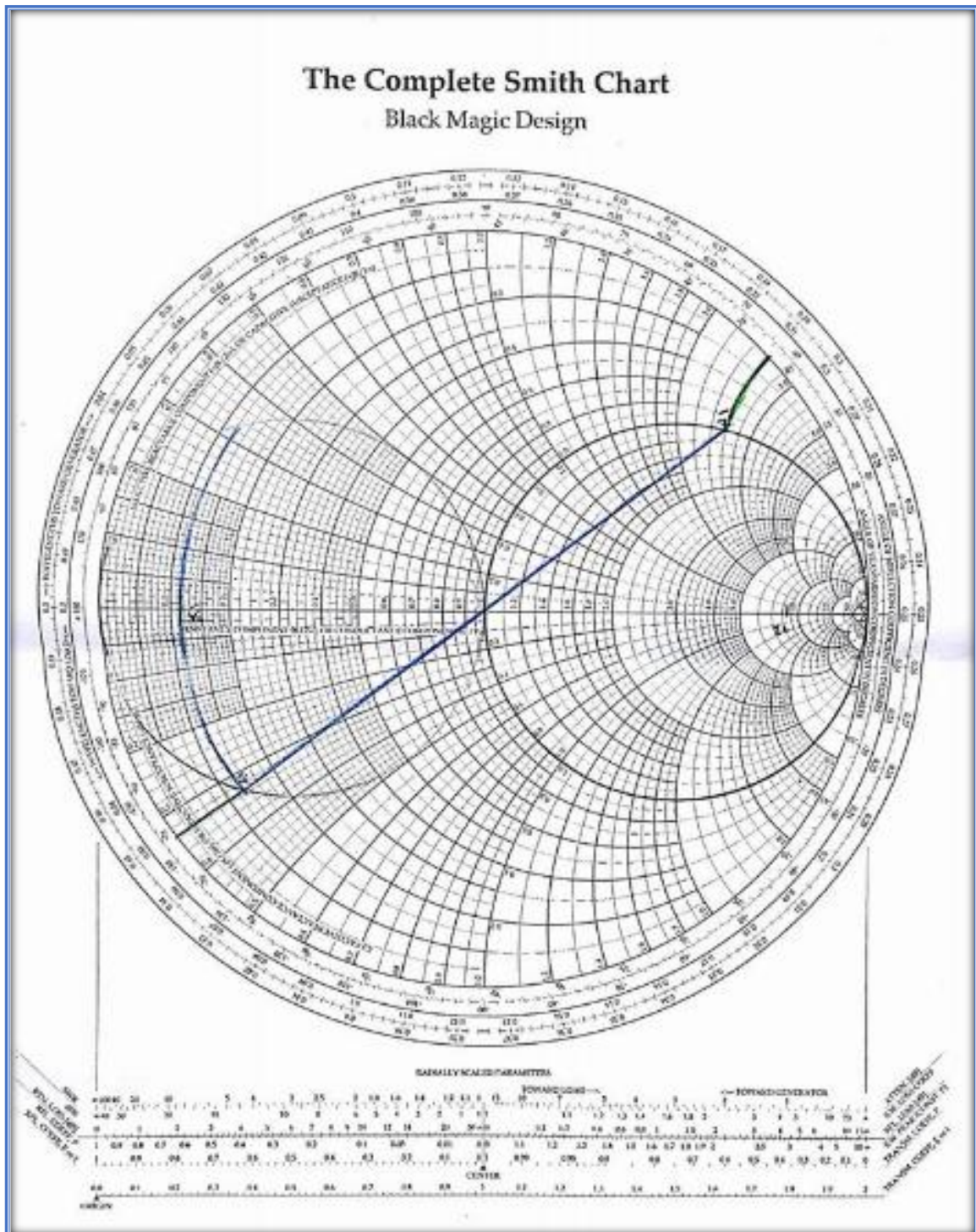


Figura 3-2: Obtención de L y C de la carga 1 utilizando la carta de Smith
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Con la ayuda del Software Amanogawa como se muestra en la *Figura 4-2* se realiza la simulación de la carta de Smith.

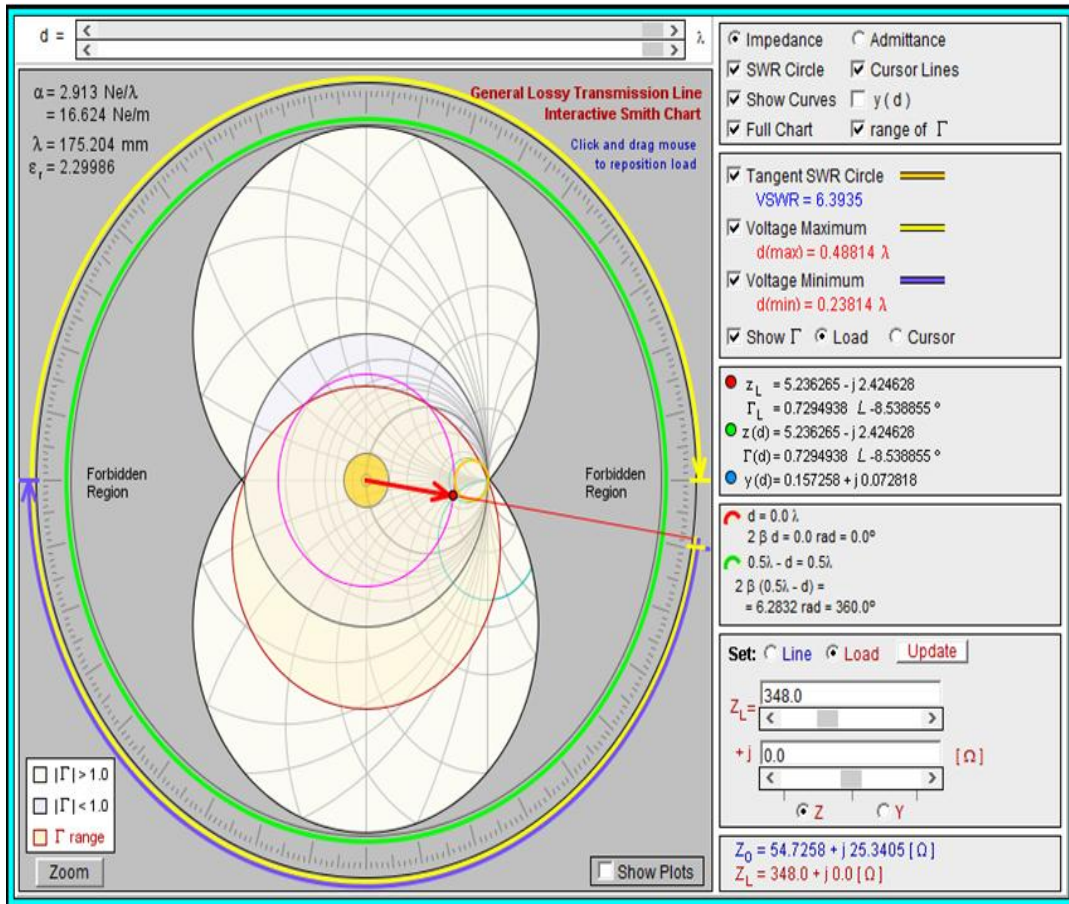


Figura 4-2: Obtención de L y C de la carga 1 utilizando el Software Amanogawa
 Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

- **Carga 2:** $Z_L = 821 \Omega$

La impedancia característica de la línea de transmisión Z_0 es aproximadamente igual a 75Ω y la impedancia de la carga que va hacer adaptada a la línea de transmisión es de 821Ω . El valor de impedancia de la carga, en la carta Smith se representa en formato normalizado, representado en la *Ecuación 4-2*.

$$\bar{Z}_L = \frac{Z_L}{Z_0} = \frac{821}{75} = 10.95 \quad \text{Ecuación 4-2}$$

En la carta Smith (*Figura 4-2*) se procede a calcular los valores de x y b, que están a continuación:

$$Y_L = 0.058 + 0j$$

$$\bar{Y}' = 0.058 - 0.24j$$

$$j_b = (0.058 - 0.24j) - (0.058 + 0j)$$

$$j_b = -0.24j$$

$$b = -0.24$$

$$\bar{Z}_L = 1 + 4j$$

$$x = -4$$

Con los valores de $x=4$ y $b=-0.24$ y la frecuencia de 64 MHz, se reemplaza en las *Ecuación 1-2* y la *Ecuación 2-2* se obtiene:

$$C = \frac{-1}{2\pi(64 \times 10^6)(-4)(75)}$$

$$C = 8,29 \text{ pF}$$

$$L = \frac{-75}{2\pi(64 \times 10^6)(-0.24)}$$

$$L = 0.77 \text{ } \mu\text{H}$$

La *Figura 5-2* representa la carta de Smith para la obtención de valores de L y C.

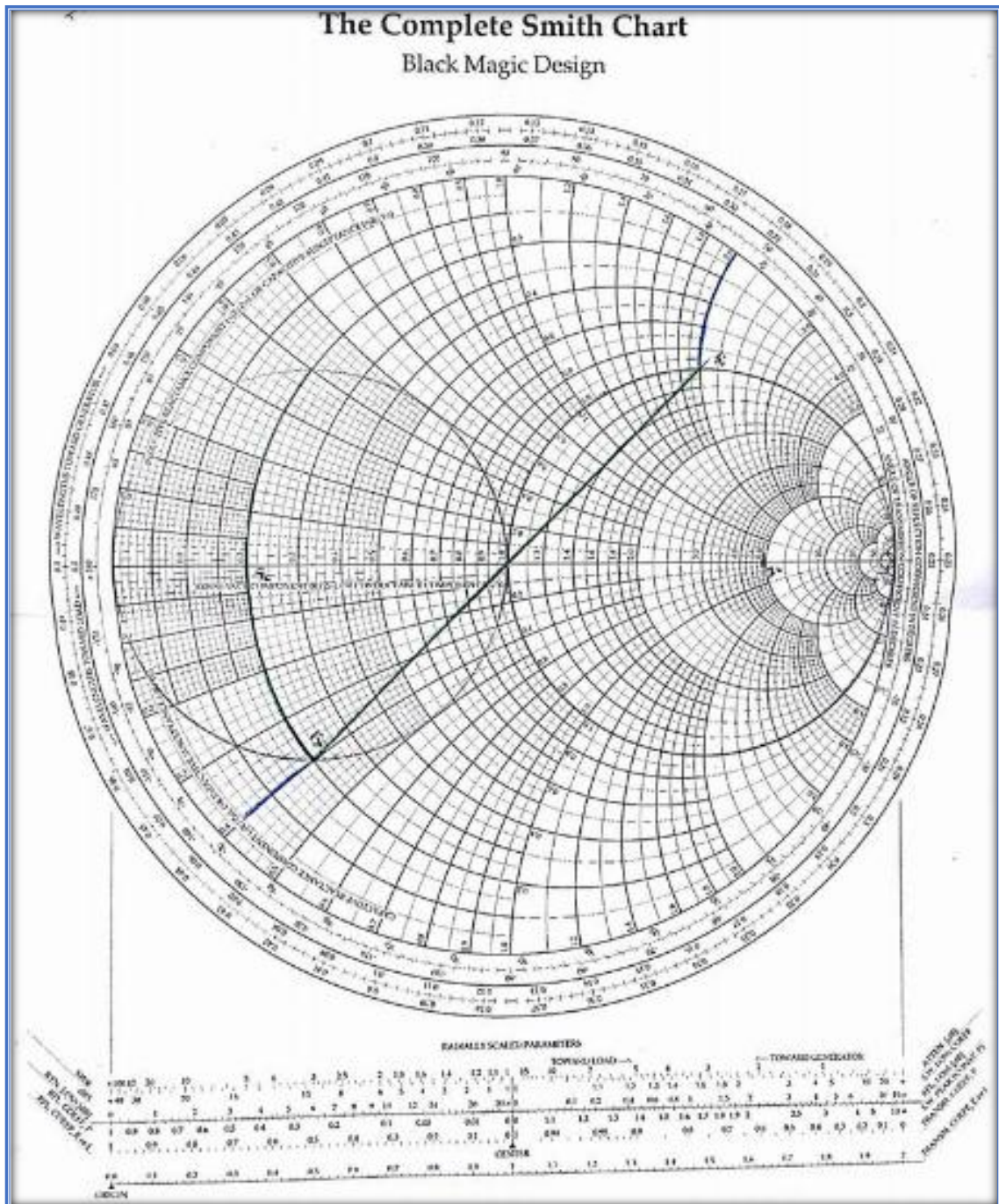


Figura 5-2: Obtención de L y C de la carga 2 utilizando la carta de Smith
Fuente: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Con la ayuda del Software Amanogawa como se muestra en la *Figura 6-2* se realiza la simulación de la carta de Smith.

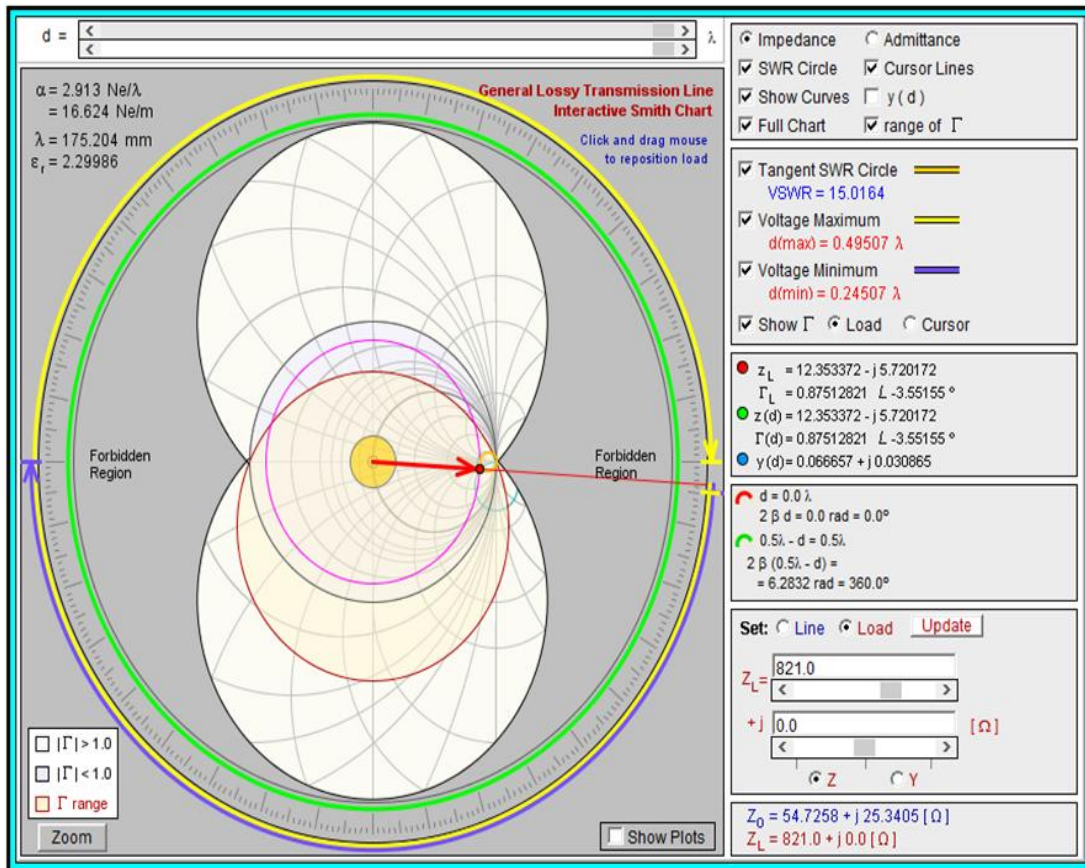


Figura 6-2: Obtención de L y C de la carga 2 utilizando el Software Amanogawa
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

En la Figura 7-2, se presenta la implementación del circuito adaptador de impedancias

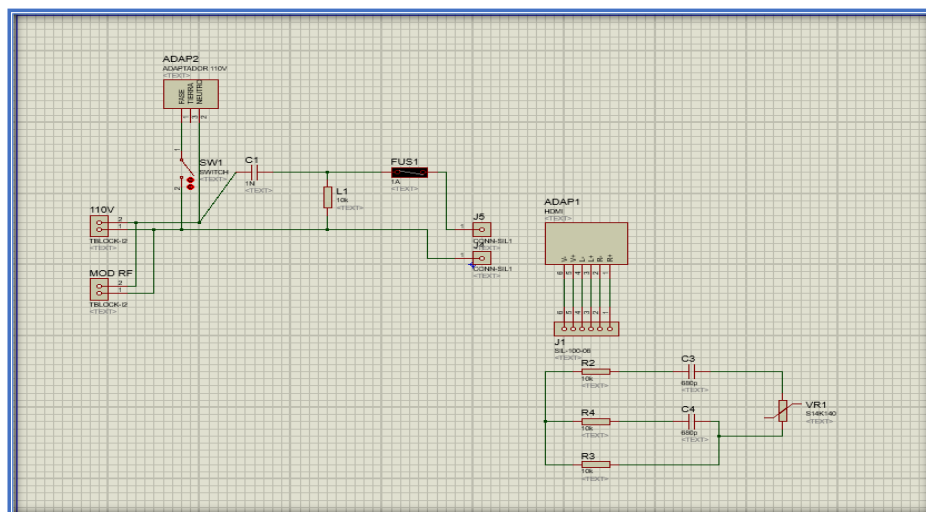


Figura 7-2: Esquema del circuito transmisor del circuito adaptador de impedancias
Fuente: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

2.2.2 Diseño del controlador de impedancias (CI)

El controlador de impedancias está constituido por el sensor de corriente y la plataforma Arduino

2.2.2.1 Sensor de corriente

El sensor de corriente ACS712 es una solución económica para medir corriente, internamente trabaja con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que se está midiendo. EL sensor nos entrega una salida de voltaje proporcional a la corriente, en este caso el sensor de corriente es el ACS712-20. (Naylamp Mecatronic, http://www.naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html)

El ACS712, facilita su conexión, de manera que trae una bornera para conectar la línea de transmisión que se pretende medir; 3 pines, dos para conectar la alimentación y un pin para la salida analógica como se muestra en la *Figura 8-2*.

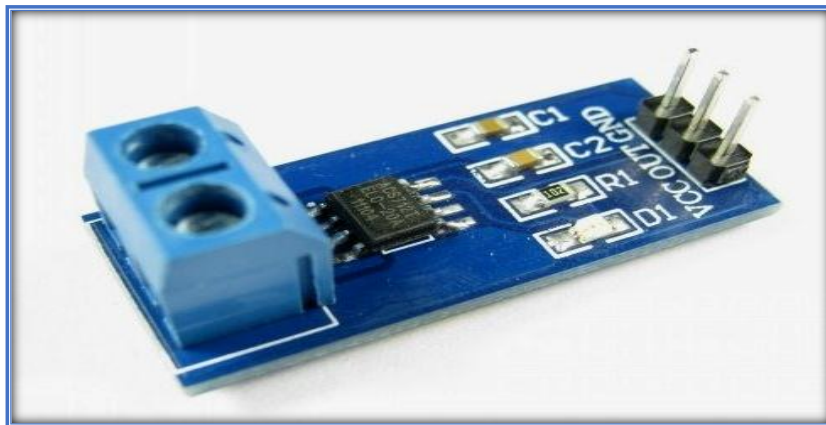


Figura 8-2: Sensor de corriente ACS712

Fuente: (Naylamp Mecatronic http://www.naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html)

En la *Tabla 1-2* se muestra las características que se tomó en cuenta para realizar el proceso de control con el sensor de corriente.

Tabla 1-2: Descripción del sensor de corriente ACS712-20A

Elementos	Características
Voltaje	5V
Corriente	20A
Sensibilidad	100mV
Señal analógica	Bajo Ruido
Tiempo de respuesta	5µs
Ancho de banda	80KHz
Error	±1.5% a 25 °C
Mide	Corriente AC/ DC

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

El sensor nos entrega un valor de 2.5 voltios para una corriente de 0A y a partir de allí incrementa proporcionalmente de acuerdo a la sensibilidad, teniendo una relación lineal entre la salida de voltaje del sensor y la corriente.

Dicha relación es una línea recta en una gráfica Voltaje vs Corriente donde la pendiente es la sensibilidad y la intersección en el eje Y es 2.5 voltios. La *Ecuación 5-2* representa la ecuación de la recta es la siguiente

$$V = mI + 2.5 \quad \text{Ecuación 5-2}$$

Donde la pendiente es m y equivale a la Sensibilidad

Despejando tendremos la *Ecuación 6-2* para hallar la corriente a partir de la lectura del sensor:

$$I = \frac{V - 2.5}{\text{sensibilidad}} \quad \text{Ecuación 6-2}$$

2.2.2.2 Plataforma Arduino

Arduino es una plataforma de código abierto construida para facilitar la creación de prototipos electrónicos, para ello se basa en el uso de un dispositivo hardware y un programador Software. El dispositivo Hardware representado en la *Figura 9-2* consta de una placa que contiene un microcontrolador el cual se le envía una serie de instrucciones por medio del Programador de Arduino, más conocido como Arduino IDE (Integrated Development Environment) a través del lenguaje de programación C. (Arduino, 2016)

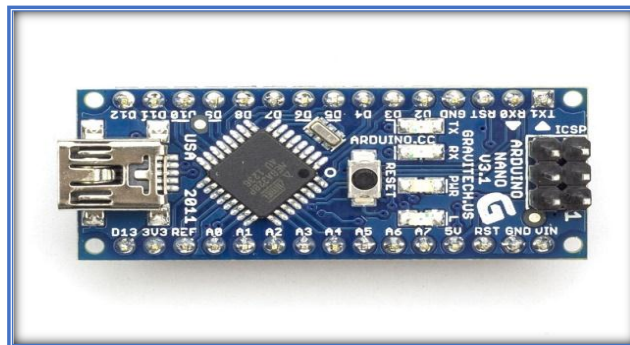




Figura 9-2: Plataforma Arduino, Arduino Nano
Fuente: Arduino. 2016

Con el pasar de los años Arduino ha sido la cabeza de miles de proyectos siendo apoyado por una gran comunidad como estudiantes, aficionados, programadores, profesionales e inclusive empresas como son Intel, Telefónica, entre otras. Arduino para satisfacer las necesidades de los consumidores ha creado distintas líneas de modelos, pero para el proyecto se utilizan dos, los cuales se detalla en la *Tabla 2-2*.

Tabla 2-2: Cuadro Comparativo de Modelos Arduino

Modelo	UNO	NANO
Microcontrolador	ATmega328 P	ATmega168 o ATmega328
Alimentación	7 - 12 VDC	7 – 12 VDC
Corriente	20 mA	40 mA
Pines Digitales	14.	14
Pines PWM	6	0
Pines Analógicos	6	8
Puerto Serial	1	1
Observación	Conector USB, Power Jack ICSP Boton de Reset	Conector mini- B USB, Boton de Reset
Memoria	32 KB	16, 32 KB
Dimensiones	68.6 x 53.4 Mm	45 x 18 mm
Peso	25 gr	5 gr
Imagen		

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

2.2.3 Implementación del circuito controlador de impedancias (CCI)

A continuación, en la *Figura 10-2* se muestra el esquema general para la implementación del circuito controlador de impedancias.

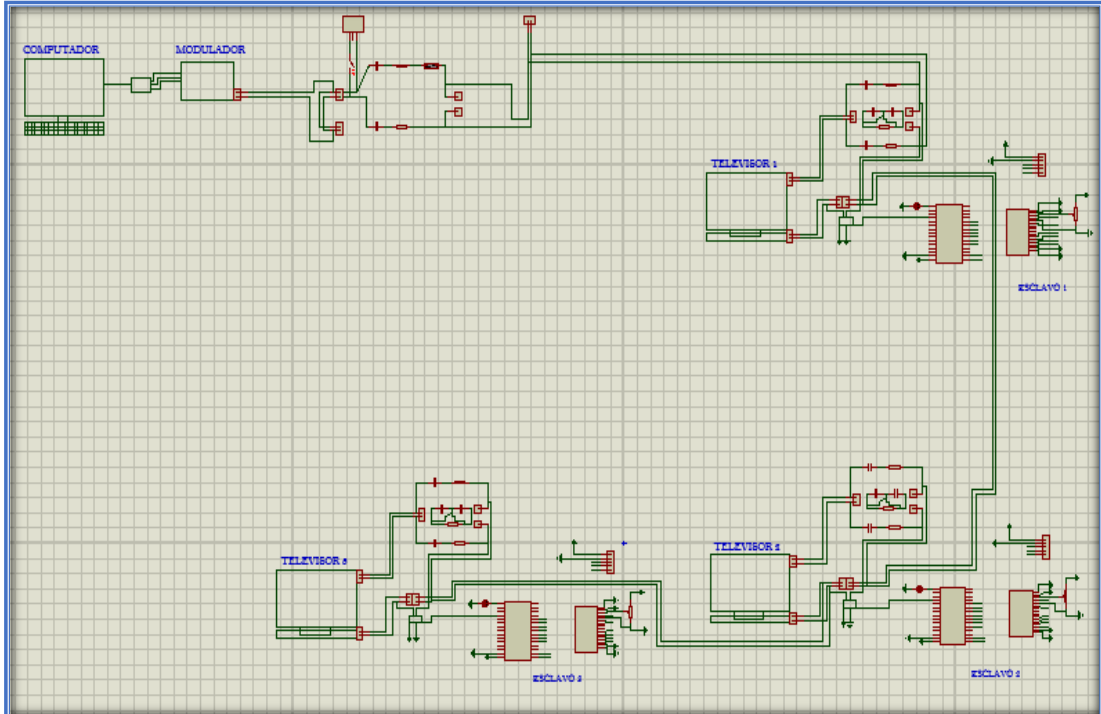


Figura 10-2: Esquema general del circuito controlador de impedancias
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Se realiza la interconexión entre el sensor de corriente y la plataforma Arduino. El sensor de corriente ACS712 consta de 3 pines el uno que es conectado a tierra el otro a una alimentación de 5V en la salida posee una bornera en la cual ingresa la línea que se desea medir, para medir la corriente se debe conectar en serie con el dispositivo o carga, como se muestra en la *Figura 10-2*

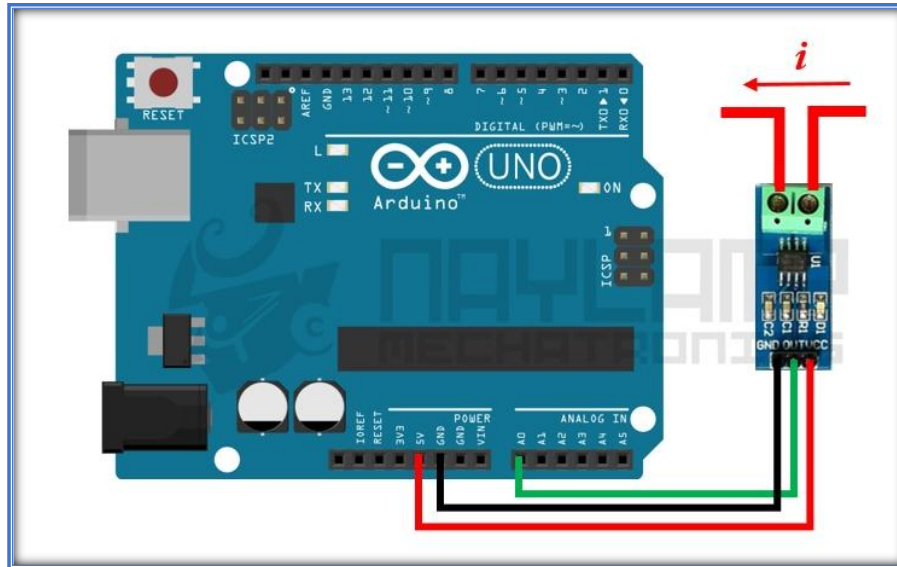


Figura 11- 2: Implementacion del controlador de impedancias
Fuente:(Naylam http://www.naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corrienteacs712.html)

2.2.4 Implementacion del sistema adaptador de impedancias (SAI), transmisor y receptor

En la *Figura 12-2* se realiza la interconexion del sistema adaptador de impedancias transmisor y el sistema adaptador de impedancias receptor a traves de la linea de transmision (PLT)

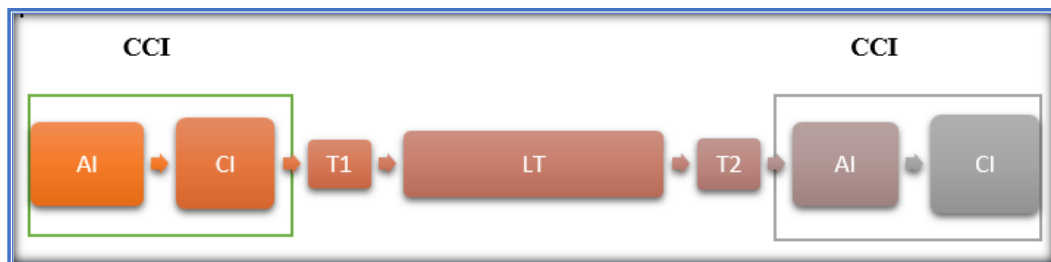


Figura 12-2: Implementacion del sistema adaptador de impedancias
Realizado por: HUMANANTE David, & SANCHEZ Valeria, 2016

2.2.4.1 Base de datos Visual Studios 2013

Se procedió a realizar una base de datos como se muestra en la *Figura 13-2* para el envío de audio video y datos, la interfaz posee un menú que permitirá elegir lo que se desee transmitir por las líneas de potencia.



Figura 13-2: Interfaz en Visual Studio
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

2.2.4.2 *Convertor HDMI a RCA*

Permite convertir la señal digital en señal analógica como se muestra en la *Figura 14-2*



Figura 14-2: Adaptador conversor HDMI para RCA video
Fuente: <https://www.jccabos.net/produto/Adaptador-conversor-HDMI-para-RCA-video.html>

Las especificaciones técnicas que se utilizó para transmitir información se la resume en la *Tabla 3-2*.

Tabla 3-2: Descripción del adaptador conversor HDMI para RCA

Elementos	Características
Adaptador de Corriente Incluido	Adaptador de alimentación de CA
Alimentación de Salida	1A
Consumo de Energía	3W
Corriente de Entrada	0.3A
Voltaje de Salida	5 DC
Conector A	1 - HDMI (19 pines) Hembra Input
Conector B	1 - Audio estéreo (2 x RCA) Hembra Output 1 - Vídeo compuesto (1 x RCA) Hembra Output
Dimensiones conversor	26 x 64 mm
Soporte	NTSC y PAL TV

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

2.2.4.3 Transmisor de Radiofrecuencia

El transmisor de radiofrecuencia como muestra la *Figura 15-2* recibe la señal del conversor de *HDMI2AV* el cual filtra la información de audio y video. Entonces dicha información es usada para modular una señal, trabaja en la banda de frecuencia de 64 MHz.



Figura 15-2: Transmisor de Radiofrecuencia

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Como se muestra en la *Tabla 4-2*, el modulador de radiofrecuencia consta de las siguientes especificaciones para enviar información hacia el sistema adaptador.

Tabla 4-2: Descripción del modulador de radiofrecuencia

Elementos	Características
Adaptador de Corriente Incluido	Adaptador de alimentación de CA incluido
Alimentación de Salida	1 A
Consumo de Energía	3W
Corriente de Entrada	0.3 A
Voltaje de Entrada	110V-220V AC
Voltaje de Salida	9 DC
Frecuencia	64Mhz
Conector	1 - Audio estéreo (2 x RCA) Hembra Output 1 - Vídeo compuesto (1 x RCA) Hembra Output
Entrada RF	conector: IEC hembra, 75 ohm
Salida RF	conector: IEC macho, 75 ohm
Soporte	NTSC TV

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

2.2.4.4 Líneas de transmisión (PLT)

La línea de transmisión es el medio por el cual se envía la información y donde estarán ubicadas las cargas que son adecuadas para el sistema adaptador de impedancias como se observa en el esquema de la *Figura 16-2*.

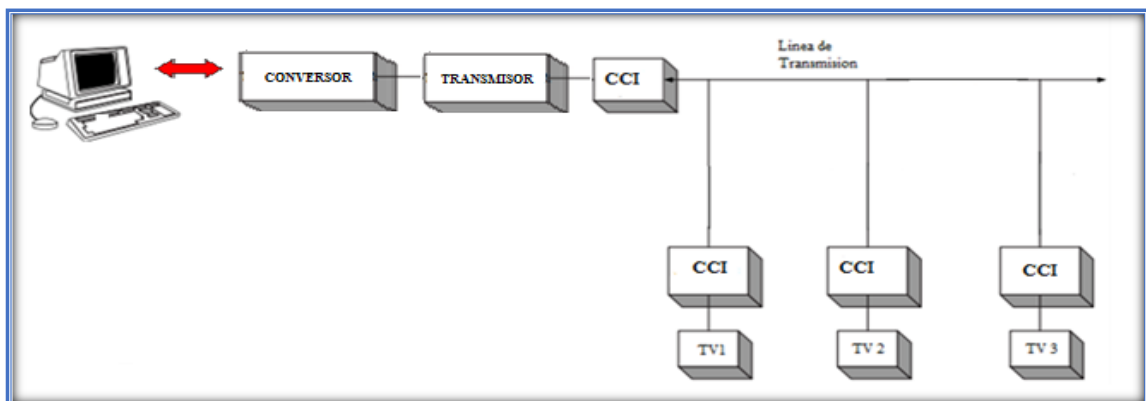


Figura 16-2: Transmisor del sistema adaptador de impedancias

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

2.2.4.5 Descripción de las cargas

Para la visualización de la señal y como medio receptor se utilizó un televisor en el primer nodo de la red. En la *Tabla 5-2* se muestra los valores tomados del dispositivo que ayudaran con la adaptación de impedancias.

Tabla 5-2: Descripción del valor de la carga 1

Elementos	Datos de placa
Voltaje	110-220 V
Corriente	0.31 A
Potencia	35W
Frecuencia	65Hz
Impedancia	75 Ohms

Realizado por: SANCHEZ Valeria & HUMANANTE David, 2016

En la *Tabla 6-2* se muestra los valores de carga que fueron considerados en el segundo nodo de la red, de la misma manera se utilizó un televisor para su visualización.

Tabla 6-2: Descripción del valor de la carga 2

Elementos	Datos de placa
Voltaje	110-220 V
Corriente	0.14 A
Potencia	16W
Frecuencia	65Hz
Impedancia	75 Ohms

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

CAPÍTULO III

3. EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

3.1 Introducción

En este capítulo se describen los procedimientos para realizar pruebas, mediciones y observaciones de la línea de transmisión usada PLT. Para validar las pruebas se planteó un circuito referencial y se implementó, las mediciones se hicieron en una casa usando los televisores y otros dispositivos.

Adicional a esto se procede a la implementación del circuito referencial usando los dispositivos y materiales adecuados para su funcionamiento, el circuito referencial está constituido por tres bloques fundamentales: bloque de entrada, bloque de procesamiento y bloque de salida.

Una vez realizada la implementación se procede al envío de información para poder recolectar las pruebas necesarias, durante las pruebas se observó el comportamiento de la señal en los tres bloques del sistema de adaptación de impedancias. Al comprobar el correcto funcionamiento de las etapas de transmisión y recepción se realizó pruebas a diferentes horas del día y de la noche, ya que la hora es un factor muy importante ya que al medio día y por las noches en los hogares hay un consumo adicional de flujo eléctrico, se realizó el procesamiento de los datos obtenidos a diferentes horas.

3.2 Sistema de la línea de transmisión con tres nodos T1, T2, T3

El sistema prototipo de la línea de transmisión está basado en el uso de 8 metros de cable eléctrico gemelo número 14, encontrándose cada nodo a 2,50 metros de distancia, se utilizó este cable, la corriente que se va a transmitir este cable la soporta tal como se muestra en la *Figura 1-3*.

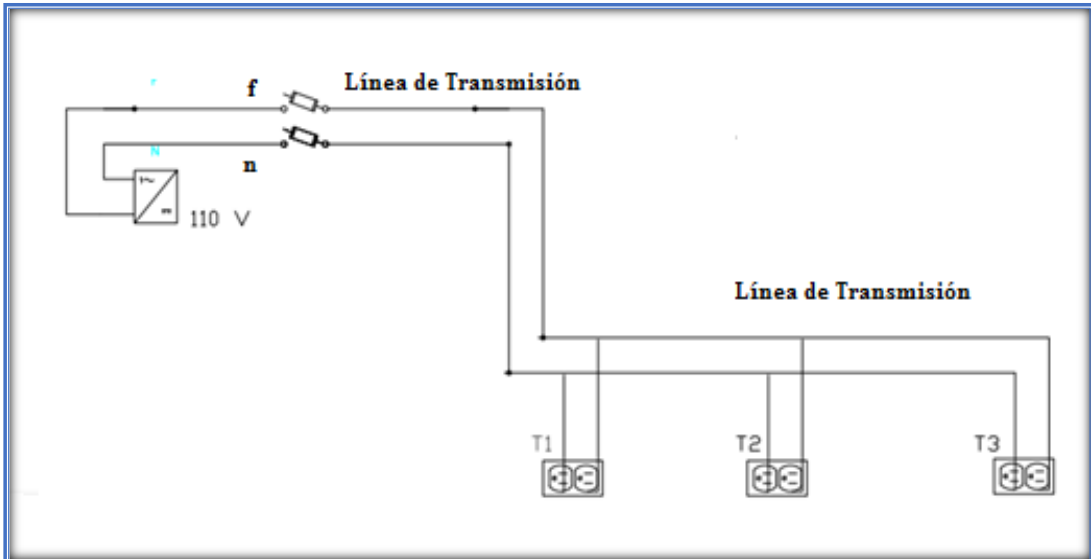


Figura 1-3: Sistema de la línea de transmisión con tres nodos T1, T2, T3
 Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Como se puede observar en la *Figura 3-2* se procede a implementar el sistema prototipo de la línea de transmisión para realizar las pruebas del acoplamiento de impedancias.



Figura 2-3: Esquema general de la línea de transmisión
 Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

3.3 Implementación del circuito controlador de impedancias

A continuación, en la *Figura 3-3* se muestra el diagrama de bloques a ser implementado en el sistema prototipo del circuito controlador de impedancias,

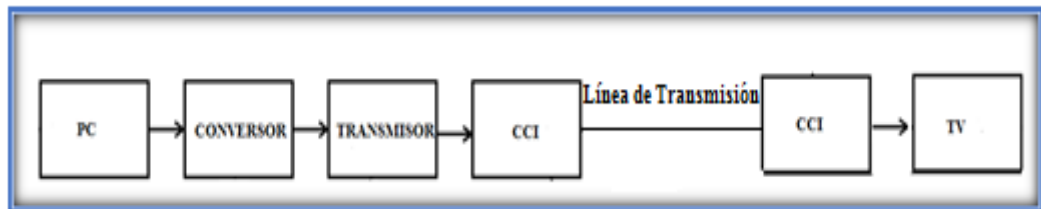


Figura 3-3: Diagrama de Bloques de CCI
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

3.3.1 Proceso de Pruebas del Sistema Adaptador de Impedancias

A continuación, se detallan las diferentes pruebas y resultados del sistema adaptador de impedancias.

Se realizan las pruebas de transmisión y las pruebas de recepción, que se detalla a continuación:

3.3.1.1 Prueba de funcionamiento de transmisión con el sistema adaptador de impedancia

Como se observa anteriormente en la *Figura 5-2*, el transmisor del sistema adaptador de impedancias se presenta el diseño que se ocupó para las pruebas en el envío de información, en la *Figura 4-3* se realiza la implementación física con la que se procedió a realizar las pruebas respectivas del sistema adaptador de impedancias.

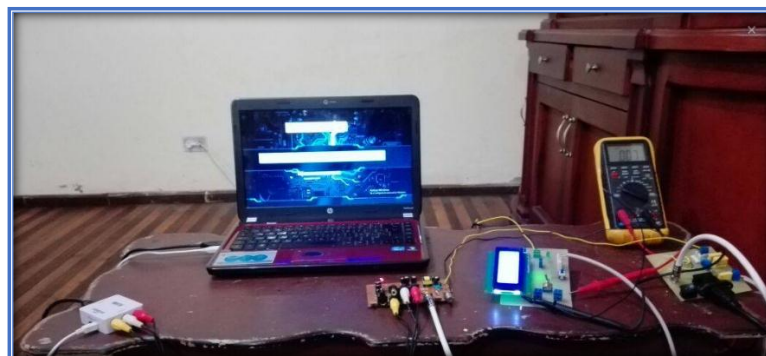


Figura 4-3: Transmisión con el sistema adaptador de impedancia
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Los datos obtenidos en el sistema adaptador de impedancia antes de conectar las cargas se representan en la tabla 1-3.

Tabla 1-3: Datos del sistema adaptador de impedancias antes de conectar las cargas.

Característica	Descripción
Rango de frecuencia	50 - 60Hz
Impedancia Característica línea de transmisión	75 Ω
Impedancia de la carga	0 Ω
Corriente de la carga a conectar	0 A
Potencia de la carga a conectar	0 W
Voltaje	115 V

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

A continuación, en la *Tabla 2-3* se procede a detallar como se realiza el envío de información en el sistema adaptador de impedancias

Tabla 2-3: Descripción de las pruebas de transmisión.

Componentes	Descripción
Computador	Procesa la señal para enviar la información a través del puerto HDMI.
Convertor Digital/Analógico	Hace el cambio digital analógico para enviar la señal procesada esta señal tiene como salida el puerto RCA.
Modulador de Radiofrecuencia	Cuando la señal llega a este punto la transmite por el cable coaxial a una frecuencia de 64MHz y una impedancia de 75 Ohms.
Acoplador de Impedancias	El acoplador de impedancias con elementos concentrados presenta el circuito adaptador con la configuración.

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Se utilizó cable coaxial RG-6 y conectores RG-6 macho cuyas características se muestran en la *Tabla 3-3*.

Tabla 3-3: Datos Obtenidos en el cable coaxial RG-6 en las pruebas realizadas.

Característica	Descripción
Rango de frecuencia	50 MHz - 2150MHz
Impedancia	75 Ω
Tensión Máxima	2.5 kV
Atenuación	2.7-21.5 dB/100m
Diámetro	8.50 mm
Peso	47Kg/m

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Para los conectores RG-6 macho sus características se muestran en la *Tabla 4-3*.

Tabla 4-3: Características del conector F

Característica	Descripción
Tipo de Cable	RG6
F	Hembra
Tipo de montaje	Montaje de cable
Impedancia	75 Ω
Frecuencia de trabajo	Hasta 3GHz

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

El procedimiento para la construcción de los cables es muy sencillo como se indica se necesita el conector F hembra mismo que está constituido por tres partes como se muestra en la *Figura 5-3* y el coaxial RG-6 que se muestra en la *Figura 6-3*.



Figura 5-3: Conector F
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016



Figura 6-3: Cable coaxial RG6
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

El conductor central del coaxial se conecta con la punta del conector RG6, poniendo a la distancia correspondiente según los estándares para que quede bien ponchado el cable coaxial el proceso se repite con el otro extremo del cable cuya longitud variara dependiendo de la distancia que se desee simular el cable construido se puede apreciar en la *Figura 7-3*.



Figura 7-3: Cable coaxial construido
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

3.3.1.2 Prueba de funcionamiento de transmisión con el sistema adaptador de impedancia

Para el proceso de recepción se utiliza el circuito adaptador de impedancias cuyo esquema receptor se muestra en la *Figura 8-3*.

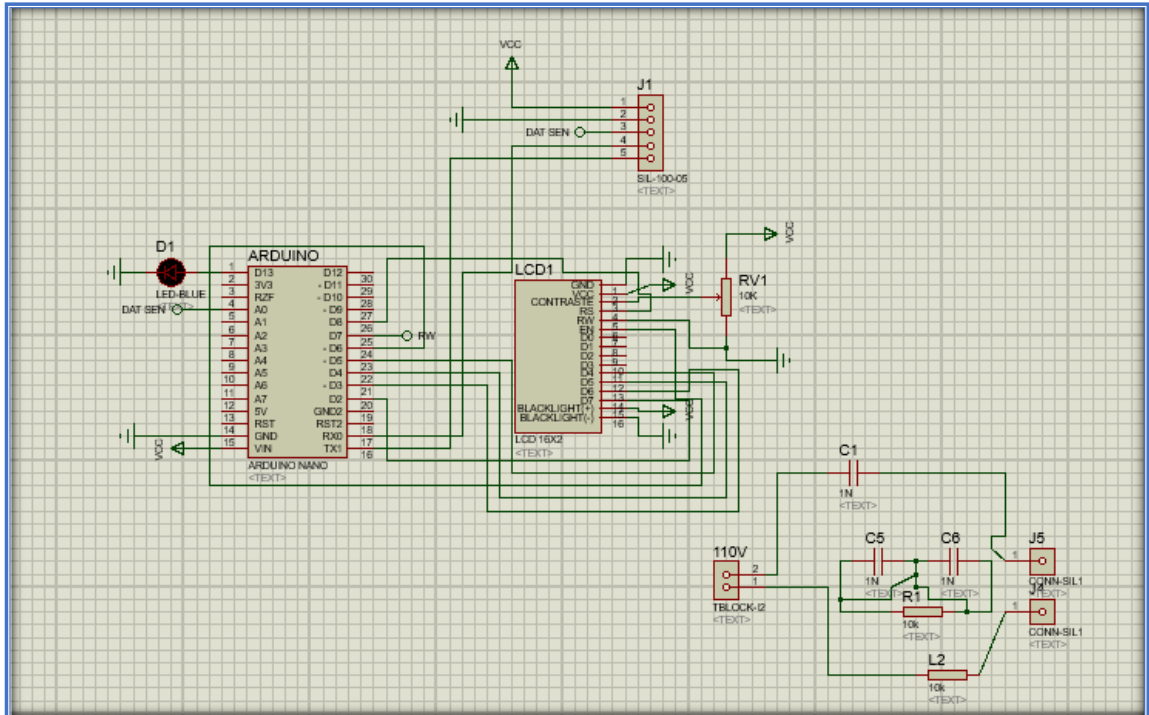


Figura 8-3: Esquema receptor del circuito adaptador de impedancias
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Para el proceso de recepción se utiliza el circuito adaptador de impedancias como se muestra en la *Figura 9-3*.



Figura 9-3: Receptor del circuito adaptador de impedancias
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

A continuación, en la *Tabla 5-3* se procede a detallar como se realizó la recepción con el circuito adaptador de impedancias.

Tabla 5-3: Descripción de los diferentes componentes en las pruebas de recepción

Componentes	Descripción
Sistema adaptador de impedancias	Es el encargado de acoplar el sistema adaptador de impedancias con la utilización de elementos concentrados y contralado en el rango de impedancias determinado.
Cable gemelo	Conectado en los tomacorriente de cada punto de la carga, es la línea de transmisión del sistema adaptador de impedancias.
Cable coaxial	Desde la salida del sistema adaptador y va hasta la entrada del receptor a una impedancia de 75 Ohms y dos metros de largo.
Cable UTP	Es el medio que es utilizado para la comunicación entre el Arduino con el sensor de corriente.

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Una vez cumplido con los parámetros dichos anteriormente y si se encuentra dentro del rango establecido en la *Figura 10-3*, se aprecia la señal que se ha enviado desde el transmisor en el receptor que es la televisión.



Figura 10-3: Señal recibida en la TV1

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016



Figura 11-3: Datos de placa de la TV1
 Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Se procede a detallar las características del receptor con los valores efectivos tomados con el multímetro y los datos de placa de la *Figura 11-3* que fueron considerados para la adaptación de impedancia, cuyos resultados se observa en la Tabla 6-3

Tabla 6-3: Datos obtenidos a través de los diferentes componentes de dispositivos conectados para la verificación del consumo de corriente en el nodo 1

Característica	Descripción
Rango de frecuencia	60Hz
Impedancia Característica	75 Ω
Impedancia de la carga	321 Ω
Corriente Máxima	0.31 A
Corriente Mínima	0.24 A
Potencia	55 W
Voltaje	120 V

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Una vez cumplido con los parámetros establecidos y realizados las pruebas en la carga 2 esta se encuentra dentro del rango como se aprecia en la *Figura 12-3*.



Figura 12-3: Señal recibida en la TV2
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016



Figura 13-3: Datos de placa de la TV2
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Se procede a detallar las características del receptor con los valores efectivos tomados con el multímetro y los datos de placa de la *Figura 13-3* que fueron considerados para la adaptación de impedancia, cuyo resultado se muestra en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3: Datos obtenidos a través de los diferentes componentes de dispositivos conectados para la verificación del consumo de corriente en el nodo 2.

Característica	Descripción
Rango de frecuencia	60Hz
Impedancia Característica	75 Ω
Impedancia de la carga	821 Ω
Corriente Máxima	0.17 A
Corriente Mínima	0.14 A
Potencia	105 W
Voltaje	110-220 V

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

En la carga número 3 es decir el televisor se va producir atenuaciones ya que no se encuentra dentro del rango establecido como se observa en la *Figura 14-3*



Figura 14-3: Señal recibida en la TV3

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016



Figura 15-3: Datos de placa TV3
 Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Se procede a detallar las características del receptor con los valores efectivos tomados con el multímetro y los datos de placa de la *Figura 15-3*, cuyo resultado se muestra en la *Tabla 8-3*.

Tabla 8-3: Datos obtenidos en las pruebas realizadas en la carga 3

Característica	Descripción
Rango de frecuencia	50 - 60Hz
Impedancia Característica	75 Ω
Impedancia de la carga	250 Ω
Corriente Máxima	0.50 A
Corriente Mínima	0.28 A
Potencia	95W
Voltaje	100-240 V

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Como se muestra en la *Figura 16-3* se conectan más dispositivos en el punto de carga esto me va a aumentar el valor de la corriente y por ende se va a producir mayores atenuaciones en la línea de transmisión.

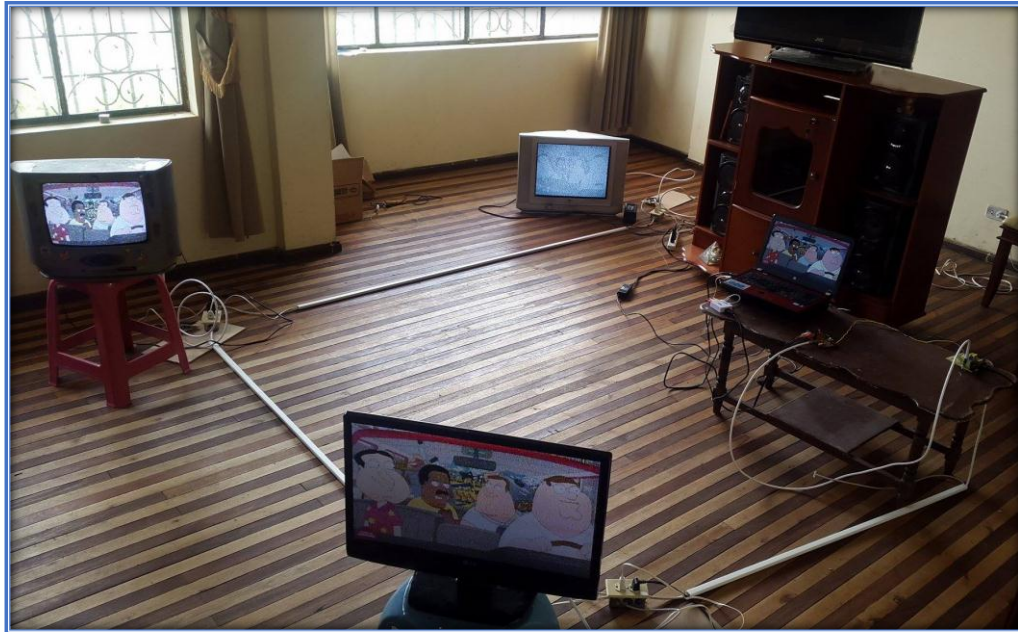


Figura 16-3: Aumento de cargas en el nodo 3
 Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

En la *Tabla 9-3* se procede a detallar las características de los dispositivos conectados en el nodo 3.

Tabla 9-3: Datos obtenidos a través de los diferentes componentes de dispositivos conectados para la verificación del consumo de corriente en el nodo 3.

Característica	Televisor 3	Televisor 4	computador	Equipo de Sonido
Rango de frecuencia	50 - 60Hz	50 - 60Hz	50 - 60Hz	50 - 60Hz
Impedancia	75 Ω	75 Ω	75 Ω	75 Ω
Característica				
Impedancia de la carga	250 Ω	215 Ω	67 Ω	110 Ω
Corriente Máxima	0.50 A	1.09A	1.7 A	1.04A
Corriente Mínima	0.28 A	0.50A	0.60A	0.90A
Potencia	95W	105W	65W	110 W
Voltaje	100-240 V	110-220 V	110-240 V	110-240 V

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

4. Pruebas del Controlador de impedancias

Se procede a conectar toda la implementación del esquema general del circuito adaptador de impedancias, se enciende el sistema y el circuito controlador procede a tomar los valores de corriente, una vez esto hecho se procede a la muestra de resultados del sistema controlador en el nodo 1 como se observa en la *Figura 17-3*.



Figura 17-3: Verificación del valor de corriente en el nodo 1
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Para determinar el rango máximo de impedancias se realizaron pruebas con la carga 1 conectada al sistema de adaptación de impedancias cuyas corrientes fluctuaban entre 0.14A y 0.19A, consecuentemente la impedancia máxima se tomó el valor de 821 Ω , tal como se muestra en la *Tabla 10-3*.

Tabla 10-3: Variación de corriente de carga 1

Voltaje (V)	Corriente (A)	Impedancia (Ω)
115	0.14	821.42
115	0.16	718.75
115V	0.19	605.26
115V	0.21	547.61

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

En la *Tabla 11-3* se muestra la variación de corriente de en la carga 1, utilizando el CCI

Tabla 11-3: Variación de corriente de carga 1, utilizando el CCI-R

Voltaje (V)	Corriente (A)	Impedancia (Ω)
115	0.14	820.62
115	0.16	714.75
115	0.19	602.26
115	0.21	538.81

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

En la *Tabla 12-3* se observa cómo se obtiene el valor del error absoluto

Tabla 12-3: Obtención del error absoluto

Valor 1	Valor 2	Error Absoluto
821.42	820.92	0,5
718.05	717.75	0,30
605.26	604.62	0,60
547.61	546.99	0,62

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Como el valor está dentro del rango establecido, en la *Figura 18-3* se observa la calidad de audio video y datos dentro del mismo.



Figura 18-3: Visualización en el nodo 1
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

De la misma en la *Figura 19-3* se observa que el valor corriente es de 0.26 A y el de impedancia es de 439.38 Ω en el nodo 2

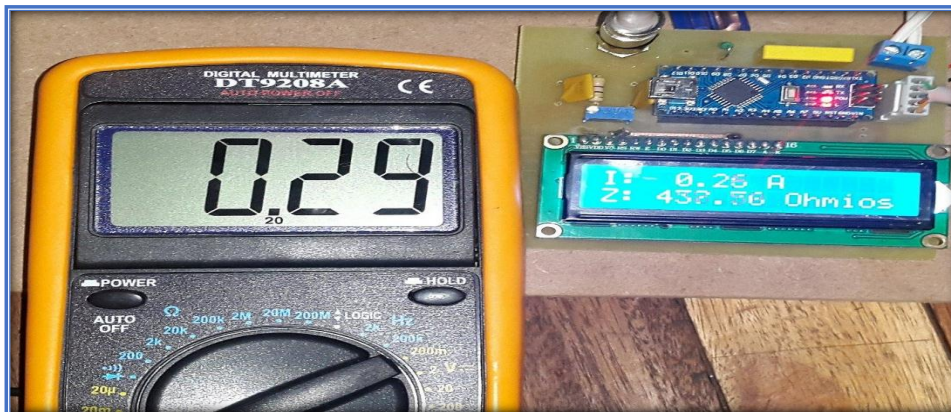


Figura 19-3: Verificación del valor de corriente en el nodo 2
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Como el valor está dentro del rango establecido, en la *Figura 20-3* se observa la calidad de audio video y datos dentro del mismo.



Figura 20-3: Visualización de los datos en el nodo 2
 Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Para determinar el rango mínimo de impedancias se realizaron pruebas con la carga 2 conectada al sistema de adaptación de impedancias cuyas corrientes fluctuaban entre 0.21A y 0.31A, consecuentemente la impedancia mínima se tomó el valor de 370 Ω , tal como se muestra en la *Tabla 13-3*.

Tabla 13-3: Variación de corriente de carga 2

Voltaje (V)	Corriente (A)	Impedancia (Ω)
115	0.21	547.61
115	0.24	479.16
115	0.26	442.30
115	0.29	396.55
115	0.31	370.96

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

En la *Tabla 14-3* se muestra la variación de corriente de en la carga 2, utilizando el CCI-R

Tabla 14-3: Variación de corriente de carga 2 utilizando el CCI-R

Voltaje (V)	Corriente (A)	Impedancia (Ω)
115	0.21	538.41
115	0.24	474.19
115	0.26	439.10
115	0.29	393.90
115	0.31	372.30

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

En la *Tabla 15-3* se observa cómo se obtiene el valor del error absoluto

Tabla 15-3: Obtención del Error Absoluto

Valor 1	Valor 2	Error Absoluto
547.61	547.14	0,47
479.16	478.94	0,22
442.30	441.90	0,40
396.55	395.95	0,60
370.96	369.98	0,98

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

Se comprueba que los resultados de las mediciones del sistema adaptador de impedancias se encuentran dentro del margen de error establecido por el sensor de corriente ACS712-20A, como se puede observar en el ANEXO B.

Como se puede observar en la *Figura 21-3* la señal en la TV está muy distorsionada, debido a que se encuentra fuera del rango establecido.



Figura 21-3: Señal distorsionada, fuera de rango
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

4.1 Equipos utilizados para diferentes pruebas

A continuación, se detallan los equipos que se utilizó para realizar las pruebas necesarias en la línea de transmisión.

4.1.1 Osciloscopio

Utilizado para observar el comportamiento de la señal en el dominio del tiempo en cada uno de los nodos viendo una variación de la onda ya que al variar las cargas varía la corriente y por ende su amplitud.

Como se observa en la *Figura 22-3* *Figura 23-3* y *Figura 24-3* respectivamente se muestra el comportamiento de la señal de voltaje es constante en el dominio del tiempo en los tres nodos del circuito controlador de impedancias.

El osciloscopio que se utilizó tiene una onda de banda de 1 Hz a 100 MHz

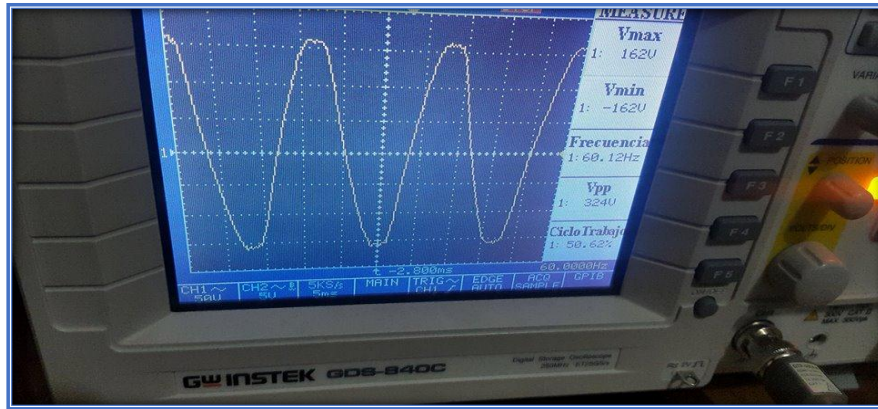


Figura 22-3: Comportamiento de la señal en el nodo 1
 Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

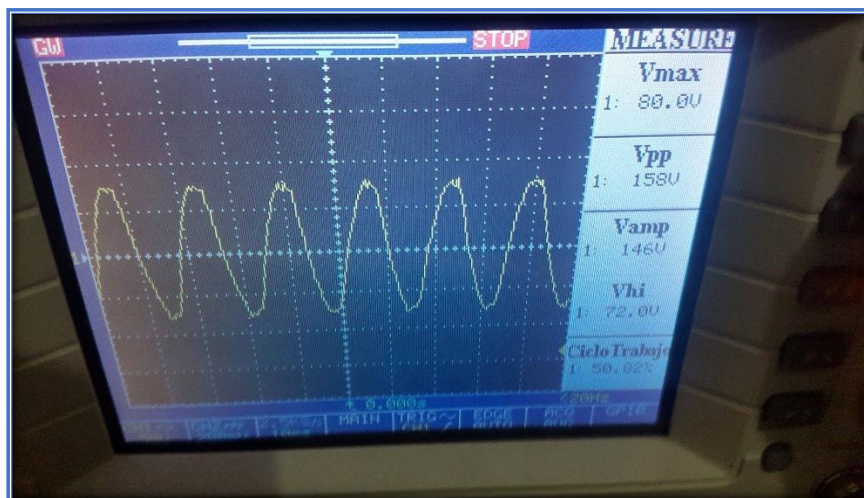


Figura 23-3: Comportamiento de la señal en el nodo 2
 Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

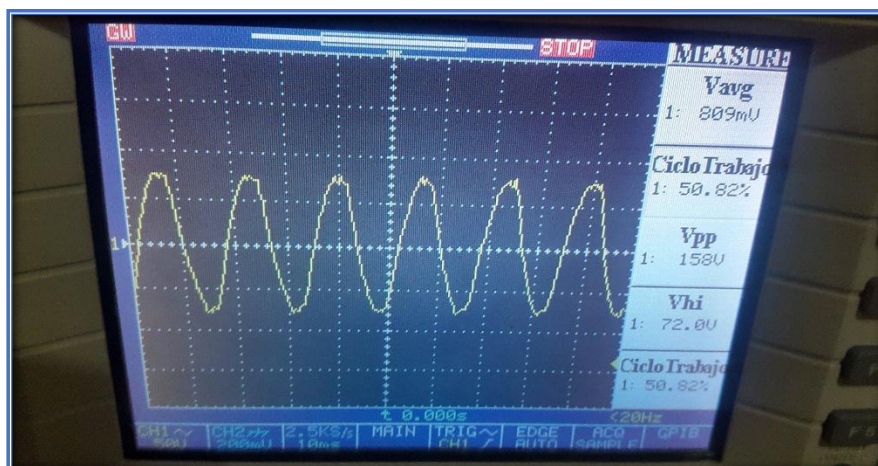


Figura 24-3: Comportamiento de la señal en el nodo 3
 Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

4.1.2 Multímetro

Como se observa en la *Figura 25-3* el multímetro es utilizado para obtener valores de voltaje y de corriente efectivos en cada uno de los nodos del circuito controlador de impedancias.

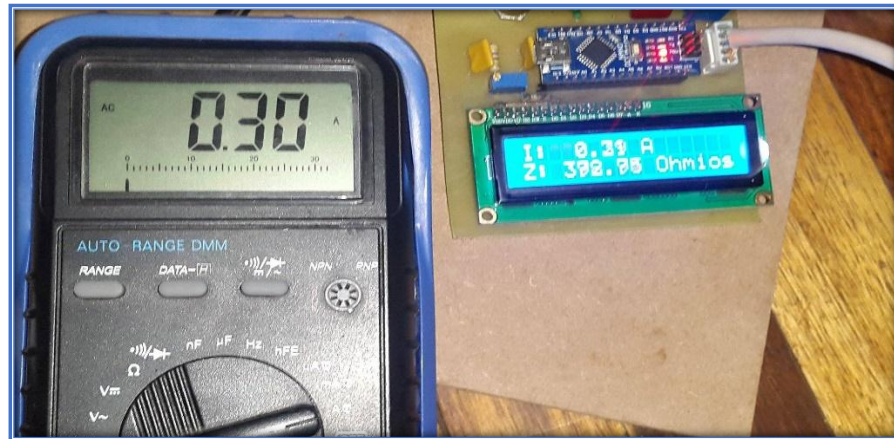


Figura 25-3: Multímetro, obteniendo valores de corriente
Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

4.2 Presupuesto

Para la realización del sistema se utilizó los siguientes elementos que se detallan a continuación en la *Tabla 14-3* con sus respectivos precios.

Tabla 16-3: Presupuesto

N°	MATERIAL	CANTIDA	P.UNITARIO	TOTAL
1	Sensor de corriente ACS 712 a 20A	3	16	48
2	Módulo Arduino Nano	3	15	45
3	Módulo Arduino Mega	1	25	25
4	Modulador RF	1	55	55
5	Mini HDMI 2AC	1	40	40
6	Cable HDMI	1	15	15
7	Cable RCA	1	10	10
8	Baterías	8	4,5	36
9	Cable UTP categoría 5e		5	5
10	Cable gemelo de 14 hilos		15	15
11	Cable coaxial		25	25
12	Conectores RG6	8	2,5	20
13	Multímetro	2	30	60
14	Pinza Amperimétrica	1	45	45
15	Inductores 1mH	4	1,25	5
16	Inductores 2,2 uH	8	1	8
17	Capacitores 104	1	0,5	0,5
18	Elementos electrónicos		30	30
19	TV LG LED	1	200	200
20	Otros		80	80
	TOTAL			767,5

Realizado por: HUMANANTE David & SANCHEZ Valeria, 2016

CONCLUSIONES

Cumpliendo con los objetivos propuestos y las respectivas pruebas realizadas durante el proceso de construcción del sistema adaptador de impedancia se concluye:

1. Una vez realizado el proceso de selección de las cargas que van a conectarse en la línea de transmisión (PLT), las mismas servirán para el acoplamiento en el sistema adaptador de impedancias.
2. En el diseño del circuito controlador de impedancias y seleccionado el rango de impedancias, con ayuda de los sensores de corriente se obtuvo una eficiencia en cuanto a los parámetros de voltaje, corriente e impedancias propuestos, ya que permitió recolectar datos fiables y confiables en el sistema adaptador de impedancias dentro del rango establecido de 370Ω a 821Ω .
3. Para las pruebas realizadas al diseñar el adaptador de impedancias para conectar en la entrada y salida de la línea de potencia PLT, se consideró los valores de las cargas seleccionadas y por ende la adaptación de impedancias con elementos concentrados, con la ayuda de la carta de Smith se encontró los valores de inductancia y capacitancia.
4. Una vez implementado el sistema de adaptador de impedancias se llevó a efecto la transmisión de audio, video y datos sin ruido en el equipo terminal.
5. Con el uso de la tecnología PLT, los cables ya existentes en las casas pueden ser usados adicionalmente como un medio de transmisión.

RECOMENDACIONES

1. Para el buen funcionamiento del sistema adaptador de impedancias se debe tomar en cuenta la atenuación y pérdida que puede producirse del cable y conector, se recomienda utilizar el cable coaxial RG-6 con su conector F que se encuentren perfectamente prensados.
2. Se recomienda tener muy en cuenta los cálculos realizados en la carta de Smith ya que los mismos permiten obtener los valores aproximados para hallar los valores de capacitancia e inductancia adecuados en el circuito adaptador de impedancias de elementos concentrados.
3. Verificar el correcto funcionamiento del controlador de impedancias, se recomienda realizar mediciones de voltaje y corriente.
4. Se prevé que para implementaciones futuras se considere las líneas de potencias como un medio factible para el envío de datos ya que en el medio en el cual nos encontramos no son explotadas a su máxima capacidad.
5. De la misma manera, se recomienda mejorar las instalaciones eléctricas en las futuras edificaciones ya que no cuentan con la infraestructura adecuada.

GLOSARIO

PLT	Power Line Telecommunication
PLC	Power Line Comunicaciones
BPL	Broadband Power Line
DPL	Digital Power Line
ROE	Relación de Onda Estacionaria
SNR	Signal to Noise Ratio (Razón de Señal a Ruido)
AWGN	Additive White Gaussian Noise (Ruido Blanco Gaussiano Aditivo)
PSD	Power Spectral Density (Densidad Espectral de Potencia)
SCR	Silicon Controlled Rectifier (Rectificador Controlado de Silicio)
HDMI	High-Definition Multimedia Interface (Interfaz Multimedia de Alta Definición)
RCA	Radio Corporation of America, (Conector de Audio y Video)
IDE	Integrated Development Environment
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Directa
AI	Adaptador de Impedancia
CI	Controlador de Impedancia
CCI	Circuito Controlador de Impedancias
SAI	Sistema Adaptador de Impedancia
RF	Radiofrecuencia
LT	Línea de Transmisión

BIBLIOGRAFIA

- ❖ **Arduino.** "*Que es arduino*". [En línea] 2016. [Citado el: 2 de Junio de 2016.]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- ❖ **Comunidad Internacional de Electrónico.** [En línea] [Citado el: 2 de Julio de 2016.] Disponible en: <http://www.forosdeelectronica.com/>
- ❖ **Ecuared** *Línea de transmisión.* [En línea] 2016. [Citado el: 28 de Abril de 2016.] Disponible en: https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana
- ❖ **González P, J. & García V, F.** *La tecnología PLC en los Programas de Fomento de la Sociedad de la Información de Red.es.* [En línea] 2004. Pp. 54-62 [Citado el: 30 de Septiembre de 2016.] Disponible en: <https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/68-69/enfoque4.pdf>
- ❖ **López Ferreras, F. & Saturnino Maldonado, R. M.** "*Análisis de Circuitos Lineales*". 3^{ra}ed. México, 2011, pp. 77-84.
- ❖ **Murphy, R.** "*Líneas de transmisión y antenas*". (**apuntes clase**). Universidad de las Américas Puebla, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Departamento de Computación, Electrónica, Física e Innovación, Puebla – México. 2006. p.2-5.
- ❖ **Ortega, C. V.** "*Introducción a la Teoría de Microondas. Líneas de Transmisión y Guías de Ondas*". Madrid - España, pp. 8 – 43.
- ❖ **Pérez, Constantino.** *Líneas de transmisión.* [En línea] Cantabria. [Citado el: 1 de Octubre de 2016.] pp. 289- 295 Disponible en: http://www.cartagena99.com/recursos/electronica/apuntes/CH9ST_Web.pdf
- ❖ **Pérez, Yolanda,** *Estudio de la tecnología HOMEPLUGAV (HPAV) para la implementación de una red mediante líneas de potencia en la transmisión de contenidos para hogares. (Tesis*

- Pregrado*). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería en Sistemas. Ecuador, Riobamba. 2013, pp. 45-55. [Citado el: 9 de Octubre de 2016.]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2532/1/18T00506.pdf>
- ❖ **Rouse M.** "*Sensor*". [En línea] 2012. [Citado el: 21 de Junio de 2016.] Disponible en: <http://whatis.techtarget.com/definition/sensor>
 - ❖ **Serna, Víctor.** *Comunicaciones a través de la red eléctrica – PLC*. [En línea] 2011. [Citado el: 8 de Octubre de 2016.] pp. 62- 65. Disponible en: http://www.redeweb.com/_txt/676/62.pdf
 - ❖ **Telecomunicaciones I.** *Líneas de Transmisión*. [En línea] [Citado el: 21 de Septiembre de 2016.] Disponible en: <http://www.escueladeltrabajo.net/telecom3.pdf>
 - ❖ **Tomasi, W.** "*Electronic Communications Systems*". Octava Ed., Estados Unidos, New Jersey, 2010, pp. 867-874..
 - ❖ **Transmisión de datos por la red eléctrica.** [En línea] [Citado el: 2 de Julio de 2016.]. Disponible en: <http://www.victorgarcia.org/files/PLC-v2.0RC.pdf>
 - ❖ **Triviño, Roberto,** *Implementación de un laboratorio de pruebas de transmisión de datos sobre líneas de potencia eléctrica para el centro de investigación científica CITIC*. (Tesis Maestría). Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Eléctrica y Electrónica, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Ecuador, Sangolquí. 2006, pp. 45-70. [Citado el: 8 de Octubre de 2016.]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec>

ANEXOS

ANEXO A. CODIGO FUENTE DEL CONTROLADOR DE IMPEDANCIAS

```
#include <LiquidCrystal.h>

float Sensibilidad=0.2; //sensibilidad en V/A para nuestro sensor
float offset=0.41; // Equivale a la amplitud del ruido
float a,z;
int Sen=A1;

float sensorValue=0;
float sensorVal=0;
LiquidCrystal lcd(8, 6, 5, 4, 3, 2);
void setup() {

  Serial.begin(9600);
  pinMode(Sen, INPUT);

}

void loop() {

  sensorValue = analogRead(Sen);
  offset = sensorValue/100; //map(sensorValue, 0, 1023, 0, 10);
  float Ip=(get_corriente()*4);//obtenemos la corriente pico
  float Irms=Ip*0.707; //Intensidad RMS = Ipico/(2^1/2)
  float P=Irms*115.0; // P=IV watts

  // Serial.print("Ip: ");

  if(Ip>=0.31){
    lcd.clear();
```



```
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(" FUERA DE RANGO");

}else{
  lcd.clear();
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("I: ");
  Serial.println(Ip,3);

  //Serial.println(Ip,3);
  lcd.setCursor(4, 0);
  lcd.print(Ip);
  lcd.print(" A");

  z=115/Ip;
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Z: ");
  lcd.print(z);
  lcd.print(" Ohmios");

}

/*
Serial.println("A , Irms: ");

Serial.print("A, Potencia: ");
Serial.print(P,3);
Serial.println("W");
*/
delay(500);
}
```

```

float get_corriente()
{
    float voltajeSensor;
    float corriente=0;
    long tiempo=millis();
    float Imax=0;
    float Imin=0;
    while(millis()-tiempo<500)//realizamos mediciones durante 0.5 segundos
    {
        voltajeSensor = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);//lectura del sensor
        corriente=0.9*corriente+0.1*((voltajeSensor-2.527)/Sensibilidad); //Ecuación para obtener la corriente
        if(corriente>Imax)Imax=corriente;
        if(corriente<Imin)Imin=corriente;
    }
    a=((Imax-Imin)/2)-offset;
    if(a<=0.04)
    {
        a=0;
    }

    return(a);
}

```

```

#include <LiquidCrystal.h>
#include <SoftwareSerial.h>

String inByte="";
float sen1=0;
float sen2=0;
float sen3=0;
String inByte2="";

```

```
String inByte3="";
float total=0;
LiquidCrystal lcd(A0, A1, A2, A3, A4, A5);

SoftwareSerial portOne(10, 11);
SoftwareSerial portTwo(9, 8);
SoftwareSerial portThree(7, 6);
void setup() {

    Serial.begin(9600);
    lcd.begin(20, 4);

    lcd.print("Iniciando");
    portOne.begin(9600);
    portTwo.begin(9600);
    portThree.begin(9600);
}

void loop() {
    // By default, the last intialized port is listening.
    // when you want to listen on a port, explicitly select it:
    portOne.listen();

    Serial.print("Data from port one:");

    //while (portOne.available() > 0) {
    inByte = portOne.readString();
        sen1=inByte.toFloat();
        Serial.print(sen1);
        lcd.setCursor(0, 0);
```

```
lcd.print("Corriente1: ");
  lcd.setCursor(12, 0);
  lcd.print(sen1,2);
  lcd.setCursor(17, 0);
  lcd.print(" ");
  delay(100);

// }

// blank line to separate data from the two ports:
// Serial.println();

// Now listen on the second port

// while there is data coming in, read it
// and send to the hardware serial port:
Serial.print("Data from port two:");

portTwo.listen();

//while (portTwo.available() > 0) {
  inByte2 = portTwo.readString();
  sen2=inByte2.toFloat();
  Serial.print(sen2);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Corriente2: ");
  lcd.setCursor(12, 1);
  lcd.print(sen2,2);
  lcd.setCursor(17, 1);
  lcd.print(" ");
  delay(100);
```

```

// }

// while there is data coming in, read it
// and send to the hardware serial port:
portThree.listen();
Serial.print("Data from port three:");

//while (portThree.available() > 0) {
  inByte3 = portThree.readString();
  sen3=inByte3.toFloat();
  Serial.print(sen3);
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("Corriente3: ");
  lcd.setCursor(12, 2);
  lcd.print(sen3,2);
  lcd.setCursor(17, 2);
  lcd.print(" ");
  delay(100);
//}

total=sen1+sen2+sen3;
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("CorrienteT: ");
  lcd.setCursor(12, 3);
  lcd.print(total,2);
  lcd.setCursor(17, 3);
  lcd.print(" ");

// blank line to separate data from the two ports:
Serial.println();
}

```

ANEXO B. CARACTERISTICAS DEL CABLE GEMELO

Caracter	Descripción
Tipo de Cable	Cable Gemelo #14
Estructura	Cobre Puro o CCA
Aislamiento	PVC
Voltaje	300V
Temperatura máxima	70°C
Forma	Recta
Tamaño	10 metros

ANEXO C. DATASHEET SENSOR DE CORRIENTE ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TUV America
Certificate Number:
UBV 06 05 54214 010



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



Description

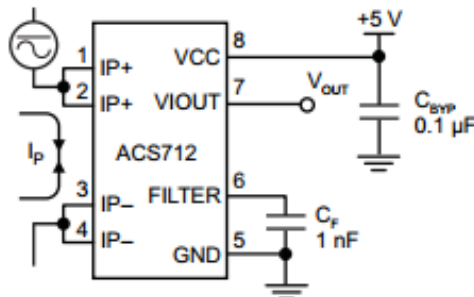
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_p , within the range specified. C_f is recommended for noise management, with values that depend on the application.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{IOUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _p	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C

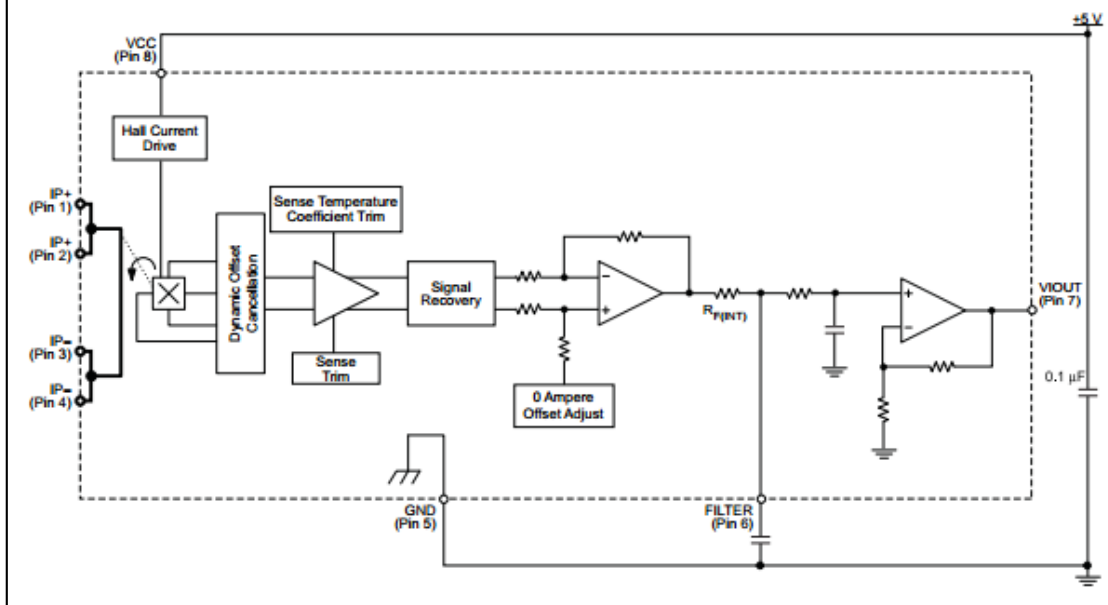
Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WFSI}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WFRI}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

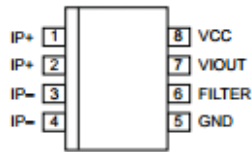
* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	VIOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	VIOUT to GND	4.7	–	–	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m Ω
Rise Time	t_r	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_P is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(O)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$			1.7		k Ω

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²1G = 0.1 mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

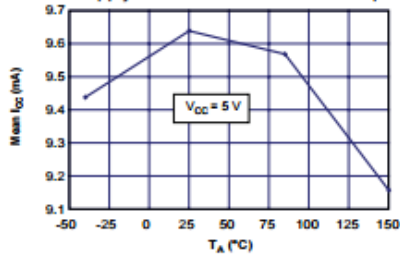
¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 20\text{ A}$. Output filtered.

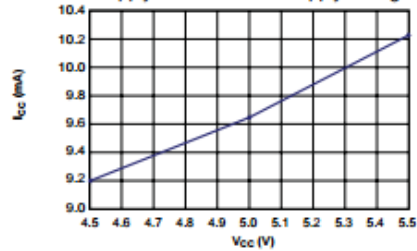
Characteristic Performance

$I_P = 20\text{ A}$, unless otherwise specified

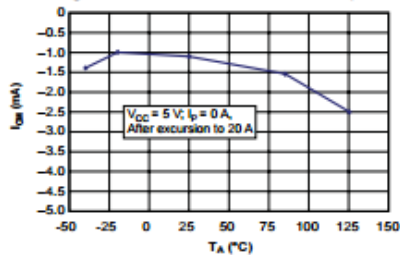
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



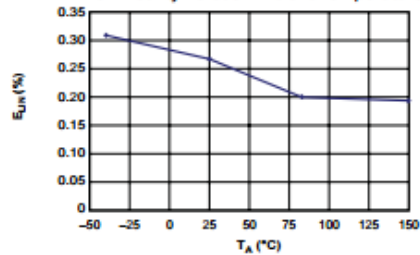
Supply Current versus Supply Voltage



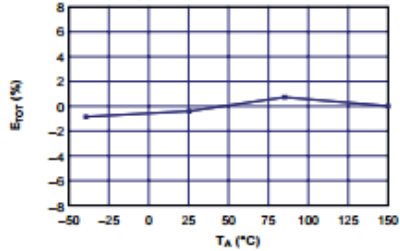
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



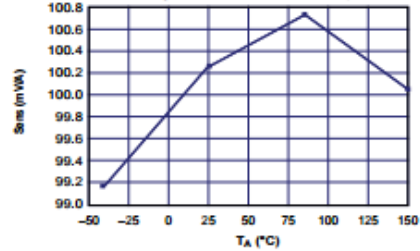
Nonlinearity versus Ambient Temperature

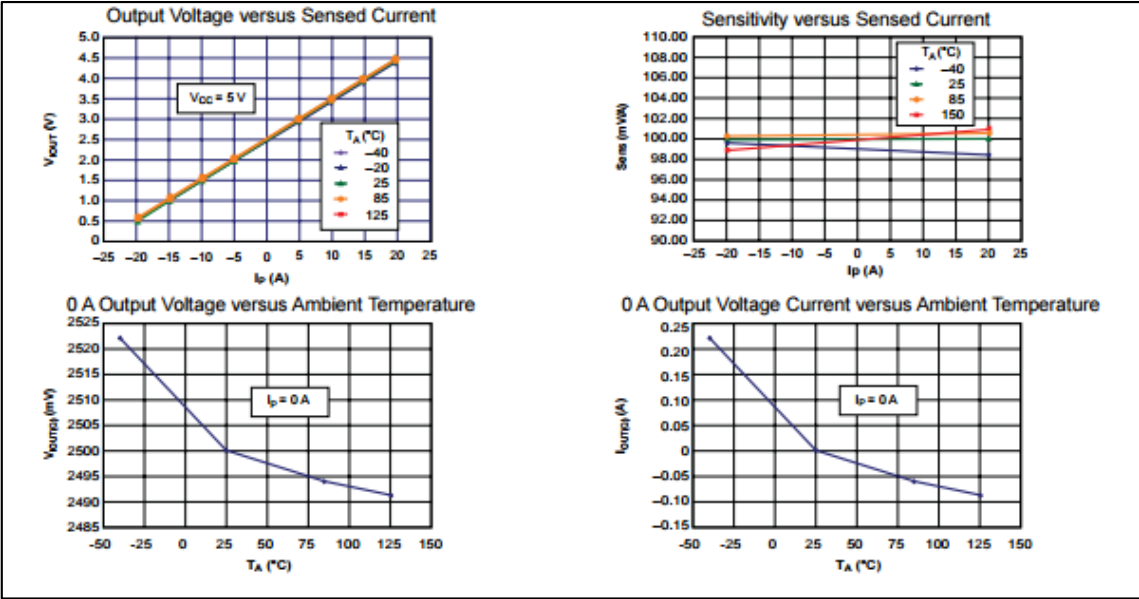


Mean Total Output Error versus Ambient Temperature

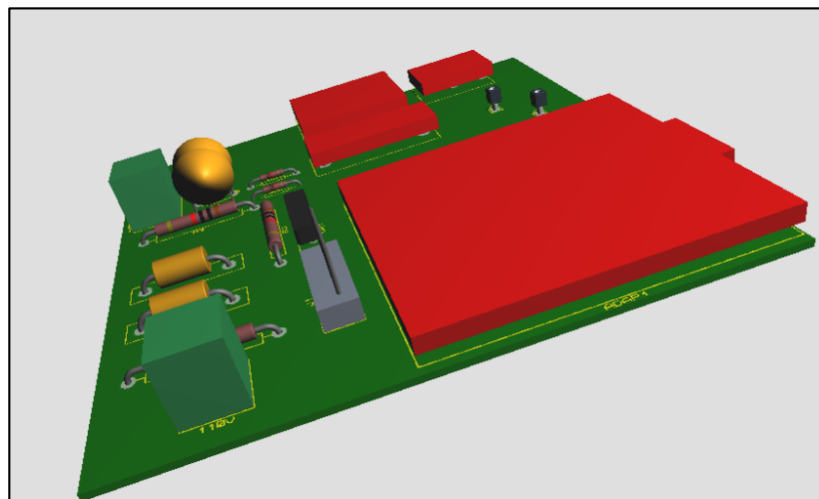
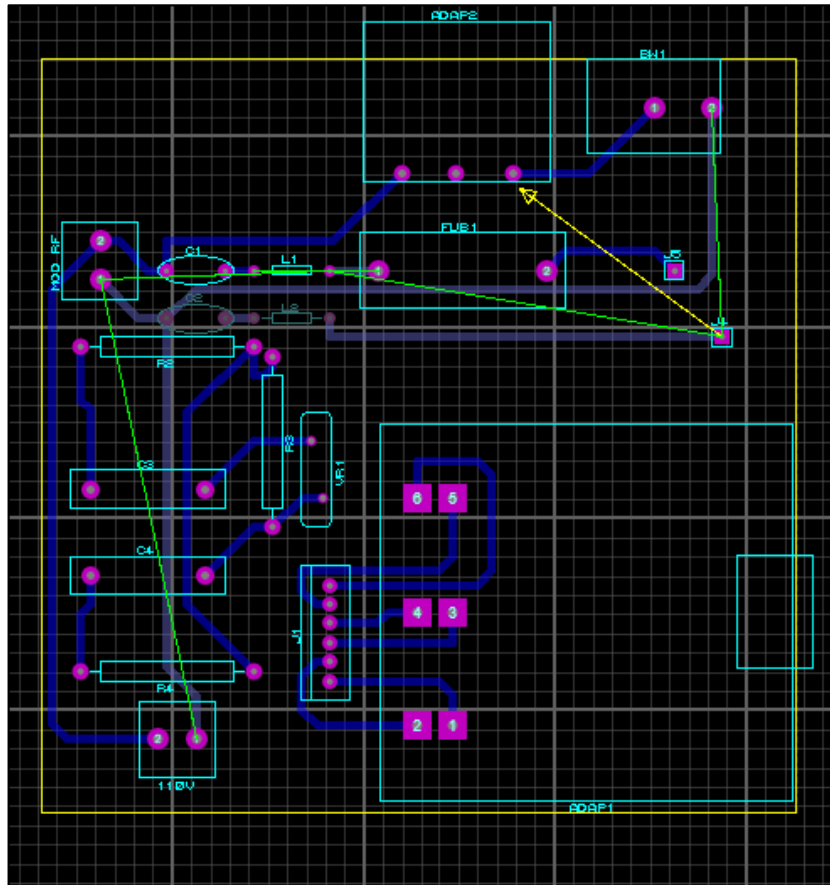


Sensitivity versus Ambient Temperature





ANEXO D. PLACA CONTROLADOR DE IMPEDANCIAS, TRANSMISOR



ANEXO E. PLACA CONTROLADOR DE IMPEDANCIAS, RECEPTOR

