



Universidad Michoacana
de San Nicolás de
Hidalgo



Facultad de Ingeniería Eléctrica

“SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN CON MEDIO DE
TRANSMISIÓN DE CORRIENTE”

TESIS

Para obtener el grado de
LICENCIADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Presenta

IVÁN CASTRO CASTRO

Asesor

DR. EN CIENCIAS GILBERTO GONZÁLEZ ÁVALOS

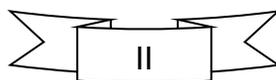
Morelia, Michoacán, Abril de 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios, quien hace que todo sea posible, pues he puesto mi fe en Él y he logrado concluir mi carrera. A mis padres, Ma. del Carmen y Calixto por enseñarme que las metas son alcanzables y que una caída no es una derrota sino el principio de una lucha que siempre termina en logros y éxitos, estoy agradecido con ellos porque siempre están a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

A mis hermanos Omar, Gabino, José, Flor, Angélica y Oliver por estar al pendiente de mí, por sus palabras de apoyo durante la realización de mis estudios. Agradezco a José Eduardo y Omar Castro, por creer en mi capacidad, por orientarme y por la ayuda incondicional que me ha ofrecido en esta etapa de mi vida como estudiante.

A mi esposa Sandra y a mis hijos, por sus palabras y confianza, por su amor y por brindarme el tiempo y apoyo necesario para realizarme profesionalmente. A mis profesores y personal de la facultad que dedicaron su tiempo y esfuerzo para guiarme en la adquisición de los conocimientos que ahora me llevo. Agradezco a mis amigos, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

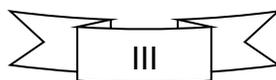


DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada de manera muy especial a Dios y a toda mi familia que han sido el motor que me impulsa en la lucha para el logro de mis proyectos.

Al Dr. Gilberto González Ávalos por haber aceptado ser mi asesor y guiarme en la elaboración de esta investigación, sin su ayuda y motivación esto no hubiese sido posible, MUCHAS GRACIAS por todas sus enseñanzas y consejos en los momentos indicados.

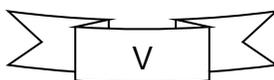
A Sandra Vergara por su oportuna y generosa colaboración. A todas aquellas personas que me apoyan y que siempre están conmigo en las buenas y en las malas, y no sólo a los que me apoyan, sino también para todo aquel que se pueda beneficiar de este trabajo. Está hecho con toda mi dedicación.



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE	IV
RESUMEN	VII
PALABRAS CLAVE	VII
ABSTRACT	VIII
KEYWORDS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS	X
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	XI
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	XIII
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Canales de Transmisión de Señales	1
1.2 Objetivo.....	5
1.3 Justificación	5
1.4 Metodología	6
1.5 Contenido de tesis	6
CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES DE SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN	8
2.1 Definiciones y conceptos	8
2.1.1 Sistema de Instrumentación	8
2.1.2 Medio de Transmisión	9
2.1.3 Corriente Eléctrica.....	10
2.2 Orígenes y evolución de la instrumentación electrónica	11

2.2.1	Instrumentación electrónica.....	12
2.2.2	Instrumentos electrónicos.....	13
2.2.3	Los inicios y avances de la instrumentación electrónica a través del tiempo	13
2.3	Análisis de la instrumentación electrónica como sistema	18
2.3.1	Sistema de instrumentación analógico	19
2.4	Teoría de los sistemas de instrumentación con medio de transmisión de corriente.....	21
2.5	La importancia de los sistemas de instrumentación.....	24
2.5.1	Ventajas de los sistemas de instrumentación analógicos.....	25
CAPÍTULO 3 DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR CORRIENTE		26
3.1	Aspectos importantes del diseño de un sistema de instrumentación con transmisión de corriente	26
3.1.1	¿Qué es el diseño de un sistema de instrumentación con transmisión de corriente?.....	26
3.2	Acondicionamiento de señales	28
3.2.1	Amplificador Operacional	30
3.3	Procedimiento del diseño del sistema instrumentación con medio de transmisión de corriente	35
3.3.1	Acondicionamiento de la señal para el diseño de este proyecto	35
3.3.2	Diseño de convertidor de voltaje a corriente y de corriente a voltaje.	42
3.4	Diseño general de un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente.....	47
CAPÍTULO 4 CASOS PRÁCTICOS DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN POR CORRIENTE		50
4.1	Estructura metodológica de la investigación	50



4.2	Implementación Física de los convertidores	53
4.3	Comprobación de la señal de CD	54
4.4	Comprobación de la señal analógica	59
4.5	Comprobación de la señal digital	63
4.6	Ejemplo de aplicaciones y uso de los sistemas de instrumentación por corriente como el que fue realizado en este proyecto	67
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		70
5.1	Conclusiones	70
5.2	Recomendaciones	72
BIBLIOGRAFÍA		73

RESUMEN

Los sistemas de transmisión de datos constituyen el apoyo para el transporte de información y de señales. Sin la creación de estos sistemas no habría sido posible la implementación de redes avanzadas, en las que compartir información en gran cantidad y de manera rápida ha sido fundamental para el buen funcionamiento de los ámbitos económicos, políticos y sociales de todo el mundo. No obstante, aún con los avances tecnológicos que existen respecto a la transmisión de señales, sigue habiendo degradaciones mediante su envío a largas distancias, viéndose afectadas algunas aplicaciones tecnológicas que son usadas por las personas en el espacio en el que se desarrollan.

Hoy en día se continúa trabajando con la tecnología de los sistemas de instrumentación para la transmisión de señales, se sigue insistiendo en la precisión y el correcto envío de dichas señales y datos, investigando e indagando aún más para lograr obtener menores pérdidas de señal, con el fin de que la información que se presenta sea de mejor interpretación para los usuarios, precisando cada vez más el proceso de la comunicación en el mundo.

Es por ello que la importancia de este proyecto radica en implementar un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente, que permita reducir en gran medida la degradación de la señal al momento de su transmisión, esto podrá obtenerse con la realización de varios estudios de caso práctico referente al tema de investigación.

PALABRAS CLAVE

Sistema, instrumentación, medio o canal, transmisión, corriente eléctrica, señales, diseño, convertidor, amplificación, transferencia, voltaje, acondicionamiento, señal de CD, señal analógica, señal digital, resistor.

ABSTRACT

The data transmission systems are the support for the transport of information and signals. Without the creation of these systems, it would not have been possible to implement advanced networks, in which sharing information in large numbers and quickly has been essential for the proper functioning of economic, political and social areas around the world. However, even with the technological advances that exist regarding the transmission of signals, there are still degradations by sending them over long distances, and some applications that are used by people in the space in which they are developed are affected.

Today we continue to work with the technology of electronic instrumentation systems for the transmission of signals, we continue to insist on the accuracy and correct delivery of these signals and data, investigating and investigating even more in order to obtain the slightest loss of signal, in order that the information presented is of better interpretation for users, increasingly defining the process of communication in the world.

That is why the importance of this project lies in implementing an instrumentation system with current transmission medium, which allows to greatly reduce the degradation of the signal at the time of transmission, this can be obtained with the completion of several studies practical case concerning the research topic.

KEYWORDS

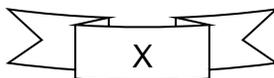
System, instrumentation, medium or channel, transmission, electric current, signals, design, converter, amplification, transfer, voltage, conditioning, CD signal, analog signal, digital signal, resistor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 Ejemplo de transmisión de señales por teléfono.....	2
Figura 2. 1 Estructura de un sistema de instrumentación.	19
Figura 2. 2 Una señal analógica.....	21
Figura 3. 1 Símbolo de un amplificador operacional de propósito general.....	32
Figura 3. 2 Convertidor de voltaje a voltaje para una carga aterrizada	35
Figura 3. 3 Diseño final del convertidor de voltaje a voltaje para una señal de CD.	38
Figura 3. 4 Diseño del convertidor de voltaje a voltaje para una señal analógica .	40
Figura 3. 5 Convertidor de voltaje a voltaje para una señal digital.	41
Figura 3. 6 Convertidor de voltaje a corriente para carga aterrizada	42
Figura 3. 7 Circuito equivalente del convertidor de voltaje a corriente	43
Figura 3. 8 Convertidor de Voltaje a corriente.....	45
Figura 3. 9 Diagrama del convertidor de corriente a voltaje para una carga aterrizada	46
Figura 3. 10 Convertidor de corriente a Voltaje.....	47
Figura 3. 11 Prototipo general que se implementará en el siguiente capítulo.	49
Figura 4. 1 Circuito implementado para la comprobación de las tres señales	53
Figura 4. 2 Circuito implementado para la señal de prueba de CD.....	54
Figura 4. 3 Circuito físico que se implementó para comprobar la señal de CD.....	58
Figura 4. 4 Circuito implementado para la señal analógica.....	59
Figura 4. 5 Comprobación de la señal analógica	61
Figura 4. 6 Comparación de la señal del transmisor y receptor	62
Figura 4. 7 Circuito implementado para la señal digital.....	64
Figura 4. 8 Visualización de imagen en funcionamiento	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 4. 1 Lista de material utilizado para la señal de CD	56
Tabla 4. 2 Valores obtenidos para la señal de CD	57
Tabla 4. 3 Valores obtenidos para la señal analógica	63
Tabla 4. 4 Valores obtenidos para la señal digital	67



LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

ADC: Por sus siglas en inglés, Analog to Digital Converter, que en castellano se traduce como Conversor Analógico a Digital.

AO: Amplificador Operacional.

C: Capacitor.

CD: Corriente Directa.

***f*:** Frecuencia.

IR: Por sus siglas en inglés, Infrared Radiation, que en castellano se traduce a Radiación Infrarroja.

ISA: Por sus siglas en inglés, Instrument Society of America, que en castellano se traduce a Sociedad Instrumental de América.

IV: Convertidor de Corriente a Voltaje.

KHz: Kilo Hertz.

KΩ: Kilo Ohm.

LED: Por sus siglas en inglés, Light Emitting Diode, que en castellano se traduce a Diodo Emisor de Luz.

mA: Miliamperios.

MHz: Mega Hertz.

mV: Milivoltios.

PID: Se utiliza para denominar a los algoritmos Proporcional-Integral-Derivativos.

PLC's: Controladores Lógicos Programables.

R: Resistencia.

RF: Radio-Frecuencia.

SI: Sistema Internacional de unidad.

V: Voltaje.

V_i : Voltaje de entrada.

V/I : Convertidor de Voltaje a Corriente.

V_o : Voltaje de salida.

Ω : Símbolo de Ohm.

Π : Signo que equivale al número 3,1416, aproximadamente, y que resulta de la relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Algoritmo: Conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permite hacer un cálculo y hallar la solución de un tipo de problemas.

Control: En electrónica los sistemas de control son aquellos dedicados a obtener la salida deseada de un sistema o proceso. Preveen y corrigen errores.

Hito: Acontecimiento puntual y significativo que marca un momento importante en el desarrollo de un proceso o en la vida de una persona.

Impedancia: Resistencia aparente de un circuito dotado de capacidad y autoinducción al flujo de una corriente eléctrica alterna, equivalente a la resistencia efectiva cuando la corriente es continua.

Milivolts: Medida de tensión eléctrica que es igual a la milésima parte de un voltio.

Modulación: Modificar alguna característica de las ondas eléctricas (frecuencia, amplitud, fase) para la mejor transmisión de las señales.

Multímetro: Un multímetro, también denominado polímetro o tester, es un instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas activas, como corrientes y potenciales (tensiones), o pasivas, como resistencias, capacidades y otras.

Parámetro: se conoce como parámetro al dato que se considera como imprescindible y orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación. A partir de un parámetro, una cierta circunstancia puede comprenderse o ubicarse en perspectiva.

Potenciómetro: Un potenciómetro es una resistencia variable mecánica (con cursor y de al menos tres terminales). Conectando los terminales extremos a la diferencia de potencial a regular (control de tensión), se obtiene entre el terminal central (cursor) y uno de los extremos una fracción de la diferencia de potencial total, se comporta como un divisor de voltaje.

Sinusoidal: Representa el valor de la tensión a través de un tiempo continuamente variable. Una onda sinusoidal representa el valor de la tensión de la corriente alterna a través de un tiempo continuamente variable, en un par de ejes cartesianos marcados en amplitud y tiempo.

Servomecanismo: Dispositivo de mando y regulación que corrige automáticamente el valor de una variable para que se mantenga el valor deseado.

Simulador: Un simulador es una herramienta informática que permite reproducir sobre el computador el funcionamiento de los circuitos eléctricos, de forma que pueda compararse tal funcionamiento con el deseado hasta comprobar que el diseño funciona correctamente.

Transductor: Un transductor es un dispositivo capaz de transformar o convertir una determinada manifestación de energía de entrada, en otra diferente a la salida, pero de valores muy pequeños en términos relativos con respecto a un generador.

Voltaje: Es la cantidad de voltios que actúan en un aparato o sistemas eléctrico. Un voltio es una unidad de medida de la diferencia de tensión o potencial y fuerza electromotriz en el Sistema Internacional de unidad (SI), su símbolo es V.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo ha sido designado con el propósito de explicar los motivos importantes por los que se decidió llevar a cabo este trabajo de investigación. Y por ello para iniciar con el desarrollo de este proyecto, se comienza por hablar sobre los canales de transmisión de señales, con el fin de ir realizando la introducción del tema que a continuación se va a desglosar.

1.1 Canales de Transmisión de Señales

Para que exista la transmisión de señales, debe haber una línea de transferencia entre dos equipos, también denominada canal de transmisión o canal. Estos canales de transmisión están compuestos por varios segmentos que permiten la circulación de las señales. Una señal se define como un voltaje eléctrico u onda electromagnética, los cuales con ayuda de alguna técnica de conmutación pueden transportarse de un medio a otro.

Por lo anterior, un canal de transmisión de señales puede definirse como el medio por el cual se transporta una señal (normalmente eléctrica u óptica) a una velocidad denominada velocidad de propagación.

El canal de transmisión es el enlace eléctrico entre el transmisor y el receptor. Puede ser un par de conductores, un cable coaxial, una fibra óptica o sencillamente el espacio libre en el cual la señal se propaga en forma de onda electromagnética. Al propagarse a través del canal, la señal transmitida se distorsiona debido a las no linealidades y/o a las imperfecciones en la respuesta de frecuencia del canal. Otras fuentes de degradación son el ruido y la interferencia que recoge la señal a su paso por el canal. [1]

Es importante mencionar que existen dos formas en las que se puede clasificar la señal, dichas formas son analógica y digital. Una señal analógica es una onda sinusoidal ondulatoria que posee un voltaje, el cual varía de modo continuo en función del tiempo. En la actualidad, la comunicación analógica se usa en radios, teléfonos residenciales, módems-routers, televisión por cable, faxes y servicio de redes, por mencionar algunos ejemplos.

La figura 1.1 muestra cómo es la comunicación analógica por medio de un teléfono residencial. Dicha comunicación se propaga a través de amplificadores, de igual manera si la señal se usa para representar datos analógicos o digitales.

Señales analógicas: Representan datos mediante una onda electromagnética que varía continuamente.



Figura 1. 1 Ejemplo de transmisión de señales por teléfono.

Una señal digital solo puede tener uno de dos niveles de voltaje, alto o bajo, lo cual representa una serie de pulsos continuos o discretos. Estas señales tienen una amplitud fija pero el ancho de sus pulsos y frecuencias pueden modificarse. Las señales digitales son típicamente usadas en la tecnología moderna para la transmisión de datos y, sin duda, este tipo de señal no existe en la naturaleza.

En el caso de este proyecto, se trabajará con la señal analógica, ya que el tratamiento de este tipo de señal es más sencillo. *La ventaja de trabajar con señales analógicas es que se aprovecha mejor la relación señal/ruido de un dispositivo [2].*

Existen dos maneras para transmitir las señales, dichas maneras se enlistan a continuación:

- Medios de transmisión guiados o por cable: Son los que proporcionan un camino físico a lo largo de la transmisión:
 - Par trenzado (señales eléctricas por cable de cobre).
 - Cable coaxial (señales eléctricas por cable de cobre).
 - Fibra óptica (señales luminosas).

- Medios de transmisión no guiados o inalámbricos: No confinan la información en un espacio definido. Utilizan el aire, mar o tierra como medio de transmisión:
 - Infrarrojos (IR).
 - Radio-frecuencia (RF).
 - Microondas.

A continuación se describen los principales canales de transmisión de señales utilizados hoy en día:

- **El cable de pares:** consiste en dos conductores eléctricos aislados entre sí y con el exterior, trenzados de forma que cada uno se encuentre expuesto a la misma cantidad de ruido externo. Los conductores son de cobre y en algunos casos para evitar interferencias los pares trenzados se acompañan de una malla metálica que aumenta el rendimiento.

Como características principales del cable de pares se pueden señalar las siguientes: son trenzados para darle mayor estética al terminado del cable, para que las propiedades eléctricas sean estables, aumentar la potencia y para evitar las interferencias entre los cables adyacentes, se puede usar para

transmitir señales analógicas y digitales a un bajo costo, ancho de banda reducido y menor velocidad de transmisión.

- **El cable coaxial:** son cables contruidos con dos conductores de cobre, uno interno por el cual circula la señal útil y otro externo que rodea a la anterior actuando a modo de pantalla.
- **Fibra óptica:** consta básicamente de un fino hilo de óxido de silicio que permite transportar la luz en la banda de infrarrojos. Está compuesta por dos capas de vidrio de distinta refracción, lo que provoca que un haz de luz incidente con un cierto ángulo de entrada se propague a lo largo de la fibra.
- **Infrarrojo:** es un tipo de radiación electromagnética y térmica de mayor longitud de onda que la luz visible pero menor que la del microondas, por consecuencia tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas.
- **Radiofrecuencia:** es la porción menos energética del espectro electromagnético situada entre los 3KHz y 300GHz.
- **Microondas:** son ondas electromagnéticas entre 300MHz y 30GHz.

Para la realización de este proyecto se utilizará el medio de transmisión guiado (cable de pares), debido a que es el medio más común en la transmisión de datos que existe en la actualidad. En este medio de transmisión se encuentra a favor el hecho de ser prácticamente el más económico que se puede ubicar en el mercado actual, por otro lado es el más fácil de trabajar por lo que cualquier persona con un mínimo de conocimientos puede adaptarlo a sus necesidades.

1.2 Objetivo

Conocer, comprender y explicar cómo es un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente y comprobar su funcionamiento en la transmisión de señales a larga distancia buscando obtener menores pérdidas de información.

1.3 Justificación

Gracias a los sistemas de transmisión de datos ha sido posible la creación de redes avanzadas en el tratamiento de las señales, en las que compartir y transferir información es fundamental para el funcionamiento del sistema económico, político y social de todo el mundo.

Debido a que la transmisión de señales con el paso del tiempo sigue siendo de gran importancia para los avances tecnológicos, el motivo e interés por el desarrollo de esta investigación, tiene que ver con la necesidad de poder proponer un medio de transmisión de corriente, en el cual se puedan transmitir señales a larga distancia teniendo menores pérdidas de información.

Las señales que llegan deben tener un gran parecido con las que se envían, si algo ocurre a la señal en el camino, como la reducción de su fuerza o la modificación de su forma, la señal recibida puede ser incomprensible. La degradación de una señal se puede producir por varias razones. Uno de los mayores obstáculos que puede tener una señal es la resistencia, ya que tiende a reducir la fuerza de una señal, a esto se le llama atenuación. El ruido es otra causa de distorsión, puede estar provocado por señales eléctricas, ondas de radio o microondas, o puede provenir de señales en cables adyacentes.

La importancia de esta investigación radica en implementar un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente, que permita reducir en gran

medida la degradación de la señal al momento de su transmisión, esto podrá obtenerse con la realización de estudios de caso práctico referente al tema de investigación.

A su vez la información que este documento presenta está dirigida y pueden servirse de ella el público en general que esté interesado en su contenido, el cual está redactado en un lenguaje sencillo que facilite la comprensión de quienes tengan acceso del mismo.

1.4 Metodología

El enfoque que se le dio al presente estudio es cuantitativo, debido a que se trata de una investigación en la que se utiliza la recolección de datos para comprobar la teoría, con base en el análisis, medición numérica y el establecimiento de patrones de comportamiento que permiten comprobar la teoría.

El método de investigación es experimental ya que se diseñó un sistema de instrumentación que consiste en una situación simulada en la que se modifican voluntariamente las condiciones de una o varias situaciones para observar y comprobar cómo se comportan las variables.

Para llevar a cabo este trabajo se tomaron como técnicas la observación, la investigación documental, el registro de datos. Como instrumentos se utilizaron el osciloscopio, generador de señales, multímetros, cuaderno de notas, entre otros.

1.5 Contenido de tesis

En el capítulo uno se menciona qué son los canales de transmisión de señales, porque es importante el medio de transmisión de corriente, cuáles son sus ventajas

y cuáles son los canales de transmisión de señales que existen en la actualidad. Además se agregan el objetivo, la justificación y la metodología de la tesis.

En el capítulo número dos se dan algunas definiciones y conceptos de los sistemas de instrumentación, se habla de cuál fue el origen de estos sistemas, también se menciona un poco de historia de la instrumentación, es decir, la manera en cómo ésta fue evolucionando a través de los años, de igual modo se hace un análisis de los sistemas de instrumentación y la importancia que tiene los mismos hoy en día.

En el capítulo tres se diseñó un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente, se mencionan cuáles son los elementos necesarios que se requieren para llevarlo a cabo, algunos parámetros de diseño para la construcción de este sistema y cuáles son las ventajas de transmitir por corriente.

En el capítulo cuatro se llevó a cabo toda la parte del registro de los datos, se analizaron casos de estudio experimental donde se pudo comprobar el funcionamiento del prototipo diseñado y también pudo probarse la parte teórica de este documento, sobre todo el objetivo propuesto.

Para concluir este capítulo de tesis, en el quinto y último capítulo se redactaron las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del trabajo en este proyecto.

CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES DE SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN

2.1 Definiciones y conceptos

Para tener mayor claridad respecto de lo que es un sistema de instrumentación y cómo es que se trabaja con éste en el desarrollo de esta investigación, es necesario abordar este capítulo comenzando con un marco conceptual, ya que aquí se van a llevar a cabo definiciones y conceptos que son esenciales para clarificar este estudio, ya que son las categorías más importantes que lo componen.

2.1.1 Sistema de Instrumentación

Un sistema es un conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan el funcionamiento de un grupo o colectividad. Para complementar esta definición se agrega lo siguiente: *Un sistema es un conjunto de partes coordinadas y en interacción para alcanzar un conjunto de objetivos. Un sistema puede ser el conjunto de la arena de una playa, un conjunto de estrellas, un conjunto sistemático de palabras o símbolos [3].*

La instrumentación por su parte es un área o campo que estudia los instrumentos. Un instrumento es un objeto o dispositivo, en términos generales, algo que tiene un propósito u objetivo particular como función. Luego un instrumento puede ser un lápiz, un vaso, un multímetro, etcétera; un lápiz es un instrumento de escritura, un vaso es un instrumento de almacenamiento, y por último un multímetro es un instrumento que sirve para medir señales.

Como se ha podido ver la palabra instrumento se puede aplicar de una forma muy general, para este proyecto el contexto de instrumento se ve reducido a la función

de medición y control, como es el caso del último instrumento mencionado anteriormente, el multímetro es un instrumento de medición electrónica. Pérez añade que la Sociedad de Instrumentos de América (Instrument Society of America), mejor conocida como ISA, define a la instrumentación como *un conjunto de instrumentos y su aplicación con el propósito de observar, medir o controlar* [4].

Una vez que se ha definido qué es un sistema y qué se conoce como instrumentación, es entonces que se llega a la definición de lo que es un sistema de instrumentación. El sistema de instrumentación es un conjunto de objetos o dispositivos de medición y control que se encargan de controlar todas las variables que intervienen en un proceso y que podrían afectar a éste y, por lo tanto, se asegura la calidad, la viabilidad y la seguridad.

Luego añade que un sistema de instrumentación *consiste en transmisores, transductores, convertidores y acondicionadores de señales. Este tipo de sistema permite recibir variables, convertirlas, procesarlas y documentarlas para análisis y/o control* [5].

En esta tesis un sistema de instrumentación se va a tomar en cuenta como un dispositivo que transforma una señal en otra. Una vez que se ha llegado a la definición de lo que es un sistema de instrumentación, se continúa en el apartado que sigue con el esclarecimiento de la siguiente categoría de este proyecto.

2.1.2 Medio de Transmisión

Ya en el capítulo uno se hizo alusión a estos términos, sin embargo, es conveniente explicar un poco más qué se conoce como medio de transmisión, para tener una mejor noción de lo que se quiere dar a entender en este trabajo de tesis.

Parafraseando a autores que ya se han citado en este trabajo, un medio de transmisión va a definirse para este proyecto, como el canal, conductor o vía por la

cual se transporta una señal eléctrica a una velocidad de propagación. Este canal puede ser un par de conductores, un cable coaxial, una fibra óptica o bien el espacio libre en el cual la señal se propaga en forma de onda electromagnética.

A continuación se habla de la última categoría que encierra el tema de este trabajo y que es muy importante, puesto que es la corriente la que se va a transportar a través del sistema de instrumentación con medio de transmisión del que se ha venido hablando.

2.1.3 Corriente Eléctrica

Se utiliza el término corriente eléctrica, o simplemente corriente, para describir al conjunto de cargas eléctricas, en concreto electrones, que se mueven a través de un medio de transmisión. Para que este movimiento se produzca es necesario que entre los dos extremos del conductor exista una diferencia de potencial eléctrico, es decir, este flujo tiene lugar desde un punto con un potencial eléctrico determinado hacia otro con un potencial eléctrico menor.

Entonces una vez mencionado lo anterior y complementado la última categoría del tema, se puede decir que un medio de transmisión de corriente es básicamente el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión de la energía eléctrica.

Jiménez, Cantú y Conde señalan que, un medio de transmisión de corriente es *el dispositivo para transportar o guiar la energía eléctrica desde una fuente de generación a los centros de consumo (las cargas). Y estos son utilizados normalmente cuando no es costeable producir la energía eléctrica en los centros de consumo o cuando afecta el medio ambiente (visual, acústico o físico), buscando siempre maximizar la eficiencia, haciendo las pérdidas por calor o por radiaciones las más pequeñas posibles [6].*

Esto último que mencionan estos autores es importante, ya que precisamente lo que se busca en este proyecto es diseñar un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente en el que se pueda transmitir dicha corriente a larga distancia sin tener pérdida o distorsión de la misma.

Una vez que se han clarificado las categorías que conforman este tema, se continúa hablando del siguiente subtema de este trabajo.

2.2 Orígenes y evolución de la instrumentación electrónica

El hombre desde sus primeros pasos sobre la tierra enfrentó el desafío de la vida y la supervivencia. Conforme este evolucionó, en algún momento surgió la idea o muy probablemente la necesidad de comparar, de cuantificar, de medir. Seguramente la mayoría de las personas conoce historias de hechos antiguos, como por ejemplo las del libro más universal que es la Biblia, que relata la historia de la famosa arca de Noé para salvarse del diluvio mundial, la cual media 300 “codos” de largo; por supuesto existen relatos donde se menciona el uso de la “vara” para medir distancias y como olvidar la legendaria “milla” de los tiempos romanos, la cual consistía de la distancia de mil pasos caminada por un soldado de la élite romana.

La curiosidad del hombre es insaciable y desde tiempos remotos se ha maravillado ante la madre naturaleza, como olvidar a los grandes sabios griegos, que en su afán de conocimiento estudiaron la tierra, las estrellas, las formas. Seguramente Pitágoras, Arquímedes, entre otros, hicieron uso de instrumentos de medición con varas, compases, balanzas, etcétera. El desarrollo del hombre y la ciencia ha sido paralelo al de los instrumentos de medición, existe una frase que dice “no se puede controlar lo que no se ha medido”. Es evidente que el avance del hombre ha implicado la necesidad de controlar, y por ende la de medir.

A continuación, antes de ahondar más en sus orígenes y evolución, se detallará un poco sobre la instrumentación electrónica, qué es y qué tipo de instrumentos maneja, ya que algunos de ellos se utilizarán para la realización de este proyecto.

2.2.1 Instrumentación electrónica

La electrónica es el área de la tecnología que estudia las características de los dispositivos electrónicos y la forma de interconectarlos. De una manera más puntualizada, Díaz y De la Peña indican que la electrónica es:

El campo de la ingeniería y de la física aplicada relativo al diseño y aplicación de dispositivos, por lo general circuitos electrónicos, cuyo funcionamiento depende del flujo de electrones para la generación, transmisión, recepción, almacenamiento de información, entre otros. Esta información puede consistir en voz o música como en un receptor de radio, en una imagen en una pantalla de televisión, o en números u otros datos en un ordenador o computadora [7].

La aparición de los primeros dispositivos electrónicos en los inicios del siglo XX, permitió aprovechar para mejorar los incipientes sistemas instrumentales de ese entonces, y desarrollar una rama científico-técnica denominada Instrumentación Electrónica.

De acuerdo con lo anterior, el avance en la electrónica ha permitido convertir a través de instrumentos electrónicos, las señales de variables físicas (distancia, velocidad, temperatura, densidad, etc.) en señales eléctricas. En relación con esto los instrumentos electrónicos se pueden clasificar como se describirá a continuación.

2.2.2 Instrumentos electrónicos

Este tipo de instrumentos se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- **Instrumentos de medida y visualización:** son los sistemas electrónicos que realizan la evaluación de uno o varios parámetros de una señal eléctrica y los presentan en forma gráfica, numérica o alfanumérica, por ejemplo el osciloscopio, el voltímetro, etc.
- **Instrumentos generadores de señales o de estimulación:** tienen como misión generar señales eléctricas de características determinadas, un ejemplo de este tipo de instrumento es el generador de funciones.
- **Instrumentos convertidores de señales:** son dispositivos o circuitos electrónicos que convierten una señal eléctrica o no eléctrica en otra señal eléctrica de características y rango determinado, ejemplo de ello son los sensores y los actuadores.

2.2.3 Los inicios y avances de la instrumentación electrónica a través del tiempo

La utilización de los instrumentos viene desde los principios de la civilización y conforme el hombre se desarrollaba, fue necesario medir ciertos parámetros que se requerían para acotar sus actividades cotidianas, tales como el tiempo, el peso, la temperatura o el caudal. Industrialmente se puede establecer que en los inicios de los años 20, se dio el desarrollo formal de la instrumentación por los requerimientos de los nuevos procesos industriales, tales como la refinación del petróleo, la pasteurización de los lácteos o la generación de electricidad.

La siguiente es una cronología que muestra cómo es que se fueron dando los avances a través del tiempo en el tema de la instrumentación electrónica:

A) Antes de 1920

Las mediciones se efectuaban localmente. Los Sistemas de Instrumentación y Control eran dispositivos manuales mecánicos y no existía la transmisión. Todo se realizaba con el operador trabajando junto al proceso. No existían métodos formales ni modelos matemáticos para poder controlar las variables predominaban los métodos heurísticos, mediante la prueba y el error o la causa y el efecto. Los únicos modos de control utilizados eran los de lazo abierto y el de dos posiciones.

B) De 1930 a 1940

Continuó la evolución de sistemas más confiables. Se construyeron los primeros servomecanismos, se utilizaron los primeros dispositivos neumáticos y se desarrollaron los primeros analizadores. Con respecto a los Sistemas de control, se desarrollaron los primeros controladores industriales que utilizaban aproximaciones a los algoritmos Proporcional-Integral-Derivativos (PID).

Así mismo, se desarrollaron los primeros Controladores Lógicos Programables. En este periodo comenzó la utilización de la transmisión neumática que permitía transmitir a locaciones remotas señales representando variables de los procesos, lo que permitía la instalación de cuartos de control donde se centralizaba la operación de los procesos mediante tableros de control. El operador ya no necesitaba de trabajar junto a los procesos, reduciéndose los riesgos que esto le implicaba.

C) Entre los años 1940 Y 1950

Las plantas alcanzaron grandes capacidades de producción, aumentando su tamaño y complejidad. En este periodo se desarrollaron los primeros instrumentos

electrónicos, basados principalmente en potenciómetros. Se construyeron los primeros transmisores y las primeras celdas de presión diferencial. En este periodo los ingenieros Ziegler y Nichols propusieron las primeras técnicas de entonamiento basados en el método de la Última Sensibilidad, antes de estos desarrollos el ajuste y estabilización de los circuitos de control se efectuaba por métodos heurísticos.

Por estos logros se considera a John Ziegler y Nathaniel Nichols como los pioneros del control automático. Al mismo tiempo se dieron los primeros pasos de la Teoría Moderna del Control Automático por parte de Wiener, dentro del marco de la Segunda Guerra Mundial que en si misma fue un hito en el desarrollo de los Sistemas de Instrumentación y Control para aplicaciones industriales. En esta década surgió la transmisión eléctrica, la que aún no se normaba, existiendo en ese entonces diferentes tipos de modulaciones con diferentes rangos.

D) En 1945

Se fundó la Instrument Society of América en la Ciudad de Pittsburgh, cuya finalidad fue fomentar el desarrollo profesional de los especialistas del ramo, así como formar los distintos aspectos relacionados con las artes y ciencias para la aplicación de los Sistemas de Instrumentación y Control para el beneficio de la Humanidad. Actualmente prevalece esta misión, la cual es compartida por la ISA-México.

E) En la década de los 50

Se introdujo la cromatografía de gases y se desarrollaron nuevos principios de medición, tales como los electromagnéticos y los ultrasónicos, cuando la electrónica pudo satisfacer los requerimientos establecidos por este principio. Con el advenimiento de la era digital, se definieron las bases del Control Supervisorio y del control Digital Directo. A través del comité SP50 de la ISA se estandarizó la transmisión eléctrica en el rango de 4 a 20mA, iniciándose con estos la migración

de la telemetría neumática a la eléctrica, obteniendo así importantes beneficios en la operación y mantenimiento de los Sistemas de Instrumentación y Control.

F) En la década de los 60

Se desarrollaron nuevos controladores electrónicos analógicos con el concepto “alta densidad”, más capaces, nuevos tipos de válvulas de control, mejorándose considerablemente el desempeño de los Circuitos de Control. En este periodo se dio un importante auge a los cuartos de control, centralizándose cada vez más operaciones en los tableros de control. Se definieron las bases del Control Distribuido y se desarrollaron los primeros PLC`s de tipo digital. También se desarrollaron los primeros Sistemas de Telemedición, utilizándose en patios de tanques de almacenamiento ubicados en áreas remotas.

G) De 1970 a 1980

Surge un avance tecnológico que revolucionaría muchos campos del quehacer humano y que encontró la aplicación inmediata en los Sistemas de Instrumentación y Control Industrial: el microprocesador. En 1975 se funda la ISA-México, como la Sociedad de Instrumentistas de América sección México A.C. con la misma misión y objetivos que la ISA. Actualmente ISA-México está clasificada como la Sección Central México.

Los microprocesadores se aplicaron en los Sistemas de Control Distribuido a mediados de esta década, aumentándose considerablemente su capacidad, funcionalidad y confiabilidad. Así mismo, se dieron los primeros desarrollos de la instrumentación inteligente. Los Controladores Lógicos Programables (PLC`s) se digitalizaron aumentando su capacidad y confiabilidad a precios reducidos. Las comunicaciones mejoraron considerablemente con la introducción de la fibra óptica, pudiéndose manejar distancias mucho mayores con menores velocidades y

pérdidas reducidas en la señal. Esto permitió la aplicación de topologías en los Sistemas de Control para la centralización de operaciones en los años 90.

H) En la década de los 80

Se construyeron instrumentos con mejor exactitud y confiabilidad, a precio reducido, introduciéndose el concepto de instrumentos “desechables”, debido a que resultaba más barato comprar nuevos que repararlos. Esto, aunado a la aparición de garantías de hasta 5 años en algunos instrumentos, tales como las celdas de presión diferencial. En ésta década se desarrollaron también las primeras aplicaciones del control avanzado.

Esto quiere decir que por primera vez se aplicaron exitosamente algunos de los conceptos establecidos en la Teoría Moderna del Control Automático a los procesos industriales, reflejándose su efecto como un aumento en la estabilidad, controlabilidad, productividad y eficiencia de éstos procesos.

En este periodo las estrategias de control se aplicaban a través de Mini computadoras interconectadas a los Sistemas de Control Distribuido, lo que en esa época no resultaba una tarea fácil y aunado al alto costo de aplicación de los esquemas de control avanzado, se requería un cambio en la culturización de los directivos y del personal de operación, para que estos pudieran aceptar los altos costos y dificultades implicados en su aplicación, justificándose mediante los beneficios obtenidos.

I) En la década de los años 90

Se ha observado principalmente la continuación de las tendencias iniciadas en las décadas anteriores. Así por ejemplo la instrumentación es cada vez más precisa y confiable, con funcionalidad multivariable, con precios reducidos. Se aplican extensivamente nuevos principios de medición y se desarrollan analizadores cada

vez más confiables capaces de medir en línea componentes que antes era imposible. Se inicia la aplicación de nuevos esquemas de control avanzado, tales como las estrategias multivariantes, las estrategias de inteligencia artificial, las redes neurales y los agentes múltiples.

En la actualidad, la instrumentación electrónica afronta constantes cambios y se ha convertido en una herramienta indispensable para ingenieros, científicos y técnicos que requieren de sistemas electrónicos de medida y estimulación de gran exactitud y precisión.

2.3 Análisis de la instrumentación electrónica como sistema

En el subtema anterior se habló de la instrumentación electrónica, sus orígenes y su evolución, en este subtema se añadirá un poco de análisis acerca de la instrumentación electrónica conformada como sistema.

Los sistemas de instrumentación se pueden clasificar en dos clases principales, analógicas y digitales. La primera clase es una rama de la electrónica que estudia los sistemas cuyas variables (tensión, corriente, etc.) varían de una forma continua en el tiempo y pueden tomar valores infinitos. La segunda, es la rama de la electrónica más moderna y que evoluciona más rápidamente. Se encarga de sistemas electrónicos en los que la información está codificada en estados discretos, a diferencia de los sistemas analógicos donde la información toma un rango continuo de valores.

El tipo de sistema de instrumentación, así como también el instrumento a utilizar, depende del tipo de datos que se desea registrar. Los sistemas de instrumentación electrónica se utilizan en diversas áreas industriales y científicas. La figura 2.1 muestra una estructura básica de un sistema electrónico de instrumentación.

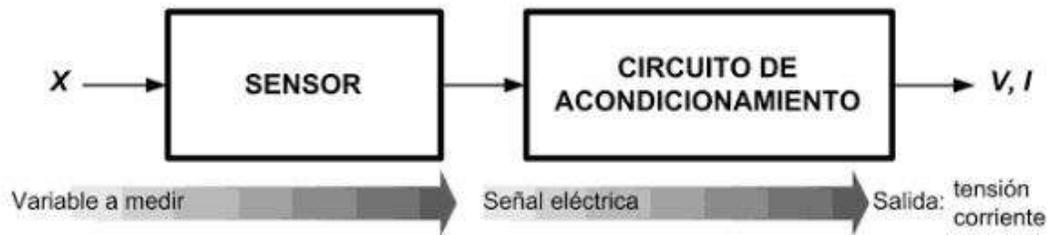


Figura 2. 1 Estructura de un sistema de instrumentación.

Con respecto a los orígenes de estos sistemas es conveniente agregar unas palabras de Pérez:

Decir cuál fue el primer sistema de este tipo puede suponer entrar en una discusión estéril acerca de si éste o aquel pueden considerarse como un sistema instrumental, pero lo que sí es cierto es que el objetivo de mejorar la capacidad de percepción puede ser tan antiguo como el propio ser humano. Inventos tan antiguos como la brújula –las primeras citas fiables datan del siglo XII- podrían considerarse como sistemas instrumentales, aunque existen efectos en los que se basan algunos modernos sensores, como el efecto piro eléctrico, que fueron documentados hace más de dos mil años [8].

Como ha mencionado este autor, a veces conforme pasa el tiempo puede irse modificando la información, inclusive algunas fechas en que se creó o se inició algo, pues cada autor le imprime un sello diferente a sus publicaciones. En este proyecto el tipo de sistema de instrumentación electrónica que se va a tomar en cuenta es el analógico, ya que mediante éste se va a realizar el estudio de caso práctico para sustentar más el documento de la tesis.

2.3.1 Sistema de instrumentación analógico

Las señales analógicas trabajan con valores continuos donde toman valores infinitos, dichas señales cambian en el tiempo de forma continua. *La señal analógica*

es de mayor inmunidad al ruido y utiliza tecnologías más sencillas y menos costosas [9].

Se puede mencionar que un primer sistema de instrumentación analógico tuvo sus orígenes con el transistor (es un dispositivo electrónico semiconductor utilizado para entregar una señal de salida en respuesta a una señal de entrada. Cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador), aparecido de la mano de Jhon Bardeen y de Walter Brattain, de la Bell Telephone en 1948, cuando se hizo posible una mayor miniaturización de aparatos como los radios.

El transistor de unión apareció algo más tarde, en 1949; es el dispositivo utilizado actualmente para la mayoría de las aplicaciones de la electrónica analógica. Sus ventajas respecto a las válvulas son, menor tamaño y fragilidad, mayor rendimiento energético y menores tensiones de alimentación entre otras. El transistor no funciona en vacío como las válvulas, sino en un estado sólido semiconductor (silicio), razón por la que no necesitan centenares de voltios de tensión para funcionar. *Los voltajes de video y de voz son señales analógicas ya que varían de acuerdo al sonido o a las variaciones de luz correspondientes a la información que se está transmitiendo [9].*

Un sistema es analógico cuando la representación de las magnitudes de la señal está dada por variables continuas. La mayoría de las cosas que se pueden medir en forma analógica se encuentran en la naturaleza. Sin embargo, los siguientes son los campos específicos que define la electrónica analógica: conducción de semiconductores, diodos circuitos integradps, transistor bipolar, transistores de efecto de campo, amplificación y retroalimentación, amplificador operacional, filtros activos, entre otros.

Aunque con la señal digital se están logrando grandes avances en el mundo de las telecomunicaciones, todavía se siguen utilizando las señales analógicas en la transmisión de radio y televisión. La figura 2.2 representa una señal analógica

periódica en la que los valores de la tensión o voltaje varían constantemente, incrementando su valor con signo eléctrico positivo (+) durante medio ciclo y disminuyendo a continuación con signo eléctrico negativo (-) en el medio ciclo siguiente. Sin embargo, las señales analógicas no necesariamente pueden ser periódicas, también hay señales no periódicas, como la que se mostró anteriormente en la figura 1.1.

Señales analógicas

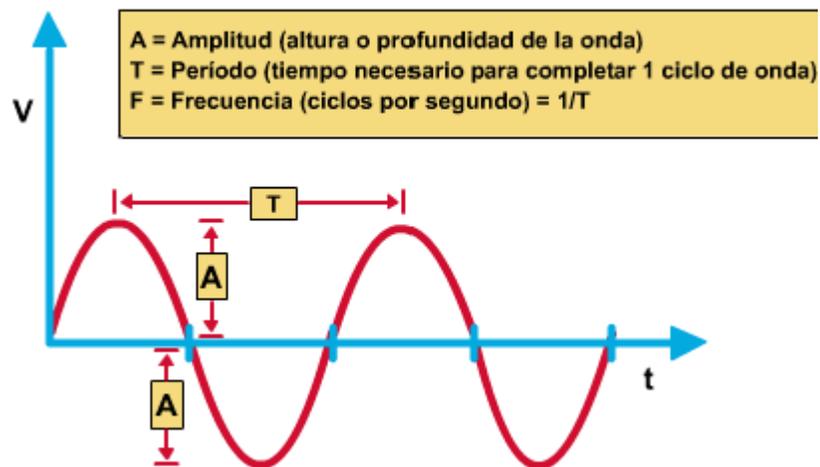


Figura 2. 2 Una señal analógica.

Por mencionar algún ejemplo, una de las señales analógicas que percibimos diariamente es la del sonido, esta es una señal que tienen variaciones muy continuas. Los voltajes de la voz es una señal analógica que varía de acuerdo con el sonido.

2.4 Teoría de los sistemas de instrumentación con medio de transmisión de corriente

Uno de los aspectos fundamentales del nivel físico es transmitir información en forma de señales eléctricas. La información que utilizan las personas o las aplicaciones no está en un formato que se pueda transmitir por una red. El medio

de transmisión funciona transmitiendo energía en forma de señales electromagnéticas. La información debe ser convertida a señales electromagnéticas, para poder ser transmitida.

La introducción de los tubos de vacío (bulbos) a comienzos del siglo XX propició el rápido crecimiento de la electrónica moderna. Con estos dispositivos se hizo posible la manipulación de señales, algo que no podía realizarse en los antiguos circuitos telegráficos y telefónicos, ni con los primeros transmisores que utilizaban chispas de alta tensión para generar ondas de radio.

Por ejemplo, con los tubos de vacío pudieron amplificarse las señales de radio y de sonido débiles, y además podían superponerse señales de sonido a las ondas de radio. El desarrollo de una amplia variedad de tubos, diseñados para funciones especializadas, posibilitó el rápido avance de la tecnología de comunicación radial antes de la II Guerra Mundial, y el desarrollo de las primeras computadoras, durante la guerra, y poco después de ella.

Hoy día, el transistor, inventado en 1948, ha reemplazado casi completamente al tubo de vacío en la mayoría de sus aplicaciones. Al incorporar un conjunto de materiales semiconductores y contactos eléctricos, el transistor permite las mismas funciones que el tubo de vacío, pero con un costo, peso y volumen más reducidos, y una mayor fiabilidad. Los progresos subsiguientes en la tecnología de semiconductores, atribuible en parte a la intensidad de las investigaciones asociadas con la iniciativa de exploración del espacio, llevó al desarrollo, en la década de 1970, del circuito integrado.

Estos dispositivos pueden contener centenares de miles de transistores en un pequeño trozo de material, permitiendo la construcción de circuitos electrónicos complejos, como los de los microordenadores o microcomputadoras, equipos de sonido y vídeo, y satélites de comunicaciones.

Las señales son la representación eléctrica de los datos. Los diferentes medios de transmisión permiten el envío de los señales en forma de variaciones de parámetros eléctricos, como tensiones o intensidades. Todos los formatos de información considerados (voz, datos, imágenes, vídeo) se pueden representar mediante señales electromagnéticas. Dependiendo del medio de transmisión y del entorno donde se realicen las comunicaciones, se pueden utilizar señales analógicas o digitales para transportar la información. El éxito en la transmisión de estas señales depende de dos factores: la calidad de la señal y las características del medio de transmisión.

La transmisión analógica es una forma de transmitir las señales analógicas independientemente de su contenido. Las señales pueden representar datos analógicos, por ejemplo la voz o datos digitales, por ejemplo datos binarios modulados mediante un modem. La señal analógica se irá debilitando con la distancia. Para conseguir distancias largas el sistema de transmisión analógico incluye amplificadores que inyectan energía a la señal.

En un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente la señal debe ser condicionada para incrementar la relación señal ruido hasta niveles adecuados, como bien menciona Drake este tipo de acondicionamiento implica: *amplificar las señales hasta niveles que sean suficientemente superiores al nivel de ruido eléctrico aleatorio; y filtrar las señales para eliminar ruidos introducidos por interferencia eléctrica* [10].

Durante este proyecto para el sistema de instrumentación, principalmente, se utilizan instrumentos transmisores, que son aquellos instrumentos que captan la variable de proceso, generalmente puede ser a través de un elemento primario, y la transmisión a distancia en forma de señal electrónica, neumática, pulsos o protocolarizada. Estos instrumentos dan una señal continua de la variable de proceso. También se usan instrumentos convertidores que son los que reciben un tipo de señal de un instrumento y la modifican a otro tipo de señal.

2.5 La importancia de los sistemas de instrumentación

Las características por las que la tecnología electrónica es la más utilizada por los sistemas de instrumentación son:

- Las señales electrónicas permiten manejar señales en un rango dinámico de tiempos muy amplio, desde los picosegundos hasta horas.
- Las señales electrónicas pueden ser transmitidas muy fácilmente a través de cables metálicos, sistemas radiados, o fibra óptica.
- Las señales eléctricas pueden ser amplificadas por circuitos electrónicos de forma muy eficientes, y pueden manejarse rangos de señal muy amplios, desde los nanovoltios hasta los kilovoltios.
- Los sistemas electrónicos permiten complejas transformaciones funcionales de las señales eléctricas.
- Las señales electrónicas son las más apropiadas para ser introducidas en los computadores, los cuales representan el medio más potente de registro, transformación y presentación de la información.

Uno de los aspectos en que radica la importancia de los sistemas de instrumentación electrónica es en la facilitación de las tareas de control de procesos, además de mejora la calidad en la medida, exactitud y precisión del proceso que se supervisa, incidiendo en la calidad y optimización de los materiales vinculados en procesos de control. El hecho de que la electrónica permite medir y controlar sus parámetros característicos, ha logrado que los instrumentos electrónicos vayan sustituyendo paulatinamente a los mecánicos, eléctricos etc.

Maraña menciona que básicamente los sistemas de instrumentación permiten: *Capturar variables de procesos, analizar, modificar, controlar y traducir los procesos a unidades de ingeniería* [11]. La medida de variables con precisión y fiabilidad

adecuadas constituye el punto clave de la tecnología. Los sistemas de instrumentación permiten la fabricación de productos complejos, de mejor calidad, en menor tiempo y con menor costo. Su importancia es principalmente de orden económico, seguridad y confort humano.

Las ventajas de un sistema bien instrumentado son las siguientes: ahorro de material y tiempo, ya que puede mantener mejor la consistencia y calidad del producto y por tanto se ahorra materia prima. Se reducen costos, y esto permite competir a base de calidad y precio. Actuación instantánea, es decir, los instrumentos actúan coordinada e instantáneamente, y gracias a esto pueden existir procesos complejos de múltiples variables. Esto es imposible realizarlo en forma manual. Permiten, de igual manera, observar el estado de aparatos y máquinas.

2.5.1 Ventajas de los sistemas de instrumentación analógicos

La utilización de instrumentos analógicos en la actualidad es muy común todavía, a pesar de que los instrumentos digitales crecen de manera exponencial en número, versatilidad y aplicaciones. Es lógico todavía pensar que los instrumentos analógicos se sigan utilizando durante los próximos años y que para algunas aplicaciones no puedan ser sustituidos.

- En el mundo real, todo está compuesto de variables análogas, eso quiere decir que la información que se introducirá a un sistema será real.
- Con el sistema analógico se puede manejar grandes potencias.
- Tienen un bajo costo.
- Es sencillo adaptarlo a diferentes tipos de escalas.

CAPÍTULO 3 DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR CORRIENTE

En este capítulo la teoría ya va acercándose más a la práctica, sin embargo, es conveniente aún detallar algunos aspectos teóricos, antes de realizar el diseño del sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente de este proyecto.

3.1 Aspectos importantes del diseño de un sistema de instrumentación con transmisión de corriente

Es importante clarificar los conceptos definidos en este capítulo, con el fin de que los lectores de esta tesis tengan una idea más completa de lo que es un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente, para que a la hora de construir uno en el siguiente capítulo, el lector sepa de manera anticipada qué es lo que se está llevando a cabo en la práctica.

3.1.1 ¿Qué es el diseño de un sistema de instrumentación con transmisión de corriente?

Es debido a lo que se ha mencionado anteriormente que se va a comenzar por describir los conceptos que componen esta temática, algunos de ellos ya son conocidos, ya se han definido en capítulos anteriores, sin embargo, hace falta definir qué es lo que se conoce como diseño, y para ello se utilizarán las palabras del profesor de diseño de la universidad de Yale, el Mtro. Gillam quien menciona lo siguiente:

Diseñar es un acto humano fundamental: diseñamos toda vez que hacemos algo por una razón definida. Ello significa que casi todas nuestras actividades tienen algo

de diseño: lavar platos, llevar una contabilidad o pintar un cuadro. Diseño es toda acción creadora que cumple su finalidad. Diseñar significa hacer algo nuevo a causa de alguna necesidad humana [12].

Entonces de acuerdo con lo que dice este autor el diseño es una actividad creativa que tiene como fin, no sólo dicha creación de algo, sino atender las necesidades humanas, es decir, realizar algo útil que busque solucionar ciertos problemas que se enfrentan cotidianamente.

Ahora que se ha definido lo que implica el diseño por sí solo, es conveniente definir entonces, qué es el diseño de un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente. El diseño de sistema es la primera fase de la práctica, aquí se selecciona la aproximación básica para resolver el problema. Durante el diseño del sistema, se decide la estructura y el estilo global.

Por consiguiente, el diseño de un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente es un plan o estrategia, donde se ilustran un conjunto de dispositivos o instrumentos que están específicamente encargados para administrar, ordenar, dirigir y regular el comportamiento de un sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados, en este caso, buen procesamiento y envío de señales sin pérdida de datos. El diseño de un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente produce los elementos que establecen cómo el sistema cumplirá los requerimientos identificados durante el análisis del mismo.

El primer paso en el diseño de sistemas de instrumentación electrónica es identificar un problema que se desea resolver de acuerdo a ciertas necesidades, por ejemplo en este proyecto, se desea diseñar y construir un sistema de instrumentación de corriente a voltaje, esto con el fin de tener mejor resolución y mejoramiento de la señal, ya que a veces durante la transmisión por voltaje puede presentar muchos problemas, la resistencia serie entre la salida del acondicionador de la señal y la

carga depende de la distancia, el cable utilizado, la temperatura, y también de qué están hechas las conexiones.

Unos pocos mV (milivolts) de pérdida a través de esta resistencia serie, podrían alterar significativamente el porcentaje de error de la medición, y a su vez, puede haber alteraciones y atenuación de las señales, de lo que se trata entonces es de reducir o eliminar estos problemas para conseguir una mejor calidad de la señal. Una vez detectado el problema, se contempla también el acondicionamiento de la señal para tener unos rangos establecidos y ajustar los valores que se van a utilizar.

A continuación se va a detallar un poco sobre el acondicionamiento de señales, puesto que es un aspecto importante a considerar antes de llevar a cabo el diseño del sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente como tal.

3.2 Acondicionamiento de señales

La señal de salida de un sistema de medición en general se debe procesar de una forma adecuada para la siguiente etapa de la operación. La señal puede ser por ejemplo, demasiado pequeña, y sería necesario amplificarla; podría contener interferencias que eliminar; ser no lineal y requerir su linealización; ser análoga y requerir su digitalización; ser digital y convertirla en análoga. A todas estas modificaciones se les designa por lo general con el término Acondicionamiento de Señales.

De acuerdo a lo anterior Lara menciona que: *por ejemplo, la salida de un termopar es un pequeño voltaje de unos cuantos milivolts. Por lo tanto, es necesario utilizar un módulo acondicionador de señal para modificar dicha salida y convertirla en una señal de corriente de tamaño adecuado, contar con un medio para rechazar ruido, lograr una linealización, y una compensación por unión fría, es decir, la compensación cuando la unión fría no está a 0 °C [13].*

El uso principal del acondicionamiento de las señales, es convertir una señal que puede ser de difícil lectura mediante instrumentación convencional en un formato que se puede leer más fácilmente. Al ejecutar esta conversión ocurren varias funciones. Entre ellas la amplificación, cuando una señal se amplifica, se incrementa la magnitud de la señal. La conversión de una señal de 0 a 10 mV a una señal de 0 a 10 V es un ejemplo de amplificación. Otra función es la linearización, se trata de convertir a una señal de entrada no lineal a una señal de salida lineal. Esto es común para señales de termopar.

Otras funciones que pueden ocurrir son la atenuación que es lo opuesto a la amplificación. Esta forma de acondicionamiento de señal disminuye la amplitud de la señal de entrada, para que la señal acondicionada este dentro del rango del ADC (Convertidor de Analógico a Digital). La atenuación es necesaria para medir voltajes altos. Y puede ocurrir también el filtrado, los filtros son necesarios para remover cualquier componente de frecuencia no deseada en una señal y reducir el ruido. Algunas mediciones de termopares generalmente requieren de filtros pasa bajas para remover el ruido de las líneas de poder.

Los siguientes son algunos de los procesos que se pueden presentar en el acondicionamiento de una señal:

- **Protección:** para evitar el daño al siguiente elemento.
- **Obtención del nivel adecuado de la señal:** en muchos casos es necesario amplificar una señal para que esta pueda ser leída.
- **Eliminación o reducción de ruido:** la forma más común es utilizar filtros.
- **Manipulación de la señal:** por ejemplo, convertir una variable en una función lineal.

Una vez que se ha detallado un poco sobre lo que implica el acondicionamiento de señales, se habla a continuación sobre el amplificador operacional, debido a que es

necesaria la utilización del mismo para llevar a cabo el proceso de acondicionar una señal.

3.2.1 Amplificador Operacional

Es importante mencionar qué es el amplificador operacional (AO), cuáles son los tipos y cuál es su funcionalidad, ya que el A.O interviene en el acondicionamiento de una señal y en los convertidores de corriente a voltaje, que es otro tema que se verá a continuación, y que también es pieza clave en el diseño del sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente.

El amplificador operacional se puede considerar como un amplificador universal debido a su gran versatilidad y a la forma simple en que puede reemplazar, funcionalmente, a una gran variedad de configuraciones discretas. El uso intensivo de los A.O.'s se desarrolla con la aparición de los circuitos integrados, tecnología que permite lograr pequeños tamaños, bajo costo y excelentes características funcionales.

El concepto original de los A.O procede del campo de las computadoras analógicas, en los que comenzaron a usarse técnicas operacionales en un época tan temprana como en los años 40. El nombre de amplificador operacional deriva del concepto de un amplificador acoplado en continua con una entrada diferencial y ganancia extremadamente alta, cuyas características de operación estaban determinadas por los elementos de realimentación utilizados.

Cambiando los tipos y disposición de los elementos de realimentación, podían implementarse diferentes operaciones analógicas; en gran medida, las características globales de circuito estaban determinadas solo por estos elementos de realimentación. De esta forma, el mismo amplificador era capaz de realizar diversas operaciones, y el desarrollo gradual de los amplificadores operacionales dio lugar al nacimiento de una nueva era en los conceptos de diseño de circuitos.

Los amplificadores operacionales son el fundamento de numerosos módulos para el acondicionamiento de señales. Este es un amplificador de alta ganancia y está disponible como circuito integrado en chips de silicio. Tiene dos entradas: una inversora (-) y otra no inversora (+). La salida depende de cómo se hagan las conexiones de estas entradas.

Cegarra, Fernández y Orden aportan la siguiente definición: *el amplificador operacional es una unidad electrónica que se comporta como una fuente de tensión controlada por tensión. Puede servir así mismo para producir una fuente de corriente controlada por tensión o por corriente. Un amplificador operacional puede sumar señales, amplificar una señal, integrarla o diferenciarla. Su capacidad para ejecutar esas operaciones matemáticas es la razón de que se llame amplificado operacional. Lo es también por su extendido uso en el diseño analógico. Los amplificadores operacionales son muy comunes en diseños prácticos de circuitos prácticos a causa de su versatilidad, bajo costo, facilidad de uso y grato manejo [14].*

De acuerdo con la cita anterior los A.O's son dispositivos electrónicos capaces de realizar una gran cantidad de funciones dentro de un circuito electrónico, dependiendo de cómo se coloque dentro del mismo. El propósito definitivo de cualquier amplificador es aumentar la señal de un circuito en particular, lo que diferencia a los amplificadores operacionales de los otros, es que realizan algunos procesos matemáticos adicionales a la señal mientras la amplifican.

En los amplificadores operacionales se cumplen algunas condiciones:

- La impedancia entre las entradas inversora y no inversora es infinita, por lo que no hay corriente de entrada.
- La diferencia de potencial entre las terminales inversora y no inversora es, o debe ser nula.
- No hay corriente entrando o saliendo de las patas inversora y no inversora.

Con dichas condiciones se puede conocer el funcionamiento de los amplificadores operacionales. El símbolo del amplificador operacional es el de un triángulo en cuya base se colocan las patas inversora y no inversora. En el vértice superior se coloca la salida. En los lados del triángulo se colocan las entradas del voltaje que se necesita para hacer efectiva la amplificación.

La figura 3.1 muestra el símbolo de un amplificador operacional.

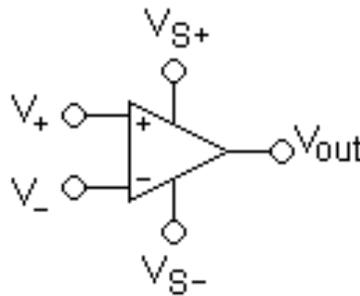


Figura 3. 1 Símbolo de un amplificador operacional de propósito general.

Las terminales son:

- V_{+} : entrada no inversora
- V_{-} : entrada inversora
- V_{OUT} : salida
- V_{S+} : alimentación positiva
- V_{S-} : alimentación negativa

De acuerdo con García: *el amplificador operacional se utiliza como comparador, el cual indica cuál de dos voltajes es mayor. Uno de los voltajes se aplica a la entrada inversora y el otro a la no inversora. Cuando las dos entradas son iguales, no hay voltaje de salida. Aunque realmente el A.O. es un circuito electrónico evolucionado, sus características de versatilidad, uniformidad de polarización, propiedades notables y disposición en circuito integrado, convierten al mismo en un nuevo elemento electrónico capaz de intervenir en la conformación de circuitos analógicos de mayor complejidad [15].*

Debido a la complejidad de la circuitería interna de un A.O, sus características de funcionamiento, potencialidades y limitaciones, requieren de un alto grado de habilidad y experiencia en técnicas de análisis de circuitos, reconocimiento de configuraciones funcionales típicas, técnicas específicas de realimentación, polarización, etc. Estos datos se evalúan en base a determinados rasgos proporcionados por el fabricante.

A continuación se muestran algunos casos de cómo se puede trabajar un amplificador operacional:

1. **Amplificador inversor/no inversor:** Un amplificador operacional inversor aumentará la ganancia de la señal y también revertirá la polaridad de la señal de salida, de positivo a negativo o viceversa. Un amplificador operacional no inversor es esencialmente el tipo "base" que incrementa la ganancia de una señal electrónica sin ningún otro proceso adicional.
2. **Seguidor de voltaje:** Un seguidor de voltaje también se conoce como seguidor de fuente amplificador de ganancia unitaria, aislador (búfer) o amplificador de aislamiento. El voltaje de entrada se aplica directamente a la entrada (+). Ya que el voltaje entre las terminales (+) y (-) del amplificador operacional puede considerarse 0. El voltaje de salida es igual al voltaje de entrada, tanto en magnitud como en signo. Por lo tanto, como el nombre del circuito lo indica, el voltaje de salida sigue al voltaje de entrada o fuente.
3. **Amplificadores de suma y resta:** Estas dos variedades de amplificadores operacionales realizan un proceso aritmético en la señal. Un amplificador operacional de resta saca una señal que es igual a la resta entre sus dos entradas. Un amplificador de suma combina diferentes voltajes de un número de entradas, y saca una ganancia basándose en los voltajes combinados. Cualquiera de estos circuitos puede ser configurado para operar como sistemas inversores o no inversores.

4. **Integradores diferenciales:** Las variedades más complejas de amplificadores operacionales son los integradores y diferenciadores. La suma de un capacitor al circuito significa que el integrador reacciona a cambios en el voltaje con el tiempo. La magnitud del voltaje de salida cambia, basándose en la cantidad de tiempo que un voltaje gasta apareciendo en la entrada. El diferenciador es lo opuesto a esto. El voltaje producido en el canal de salida es proporcional a la tasa de cambio de la entrada. Los cambios más grandes y rápidos en el voltaje de entrada producirán voltajes de salida más altos.

5. **Comparadores:** Una de las funciones principales del amplificador operacional es la de comparador. Una de las condiciones que se debe cumplir para utilizar el amplificador operacional es que el voltaje entre la entrada inversora y no inversora debe ser cero. Si establecemos un voltaje fijo en la terminal inversora, pero en la pata no inversora tenemos un voltaje menor a dicho potencial, la salida del amplificador será nula, es decir, no habrá voltaje en la salida.

Finalmente, se puede decir que el amplificador operacional es un dispositivo lineal de gran importancia en la electrónica actual, que permite diseñar bloques funcionales con un comportamiento que es independiente de las características del elemento amplificador. Con él se consigue diseñar circuito electrónico muy preciso y estable, aun cuando se utilice tecnología semiconductora que en sí es imprecisa e inestable.

3.3 Procedimiento del diseño del sistema instrumentación con medio de transmisión de corriente

Una vez que se ha contemplado la teoría que abarca este capítulo, es durante el desarrollo del presente tema que se realiza ya el diseño del sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente, que es el tema principal de este proyecto de tesis.

3.3.1 Acondicionamiento de la señal para el diseño de este proyecto

Con el fin de que el lector tenga un panorama más claro respecto al proceso de acondicionamiento de una señal, se muestra a continuación el circuito con sus respectivas fórmulas, que permiten ajustar el rango de voltaje para realizar el acondicionamiento de las señales.

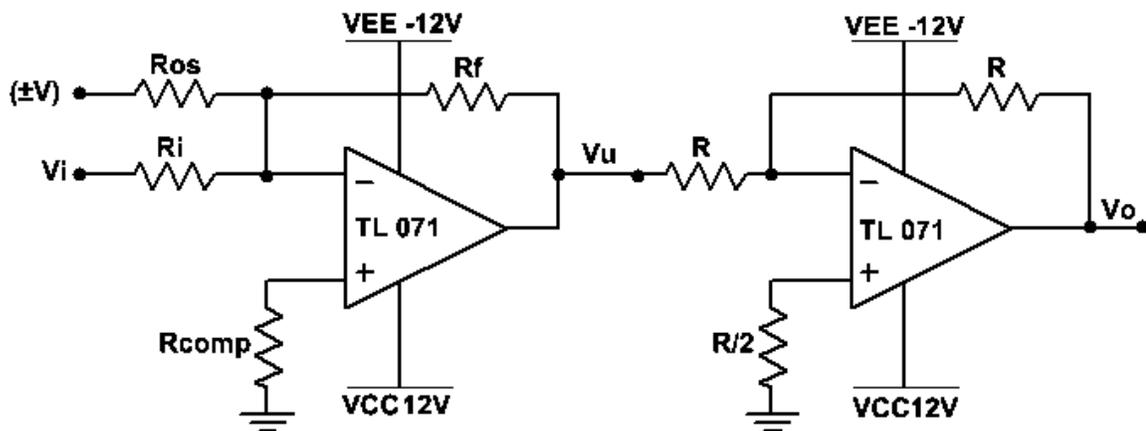


Figura 3. 2 Convertidor de voltaje a voltaje para una carga aterrizada

Para iniciar el acondicionamiento de la señal de este proyecto, se comienza por realizar los siguientes cálculos con sus respectivas fórmulas, para conocer los valores requeridos de las resistencias.

Por superposición en referencia a la figura 3.2:

$$Vu = -\frac{Rf}{Ri} (Vi) - \frac{Rf}{Ros} (\pm V) \quad (\text{Ec. 3.1})$$

El Voltaje de salida es

$$Vo = -Vu \quad (\text{Ec. 3.2})$$

$$Vo = \frac{Rf}{Ri} (Vi) + \frac{Rf}{Ros} (\pm V) \quad (\text{Ec. 3.3})$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ y = & m x & + b \end{array}$$

Ahora comparando con la ecuación de la recta $y = mx + b$

$$m = \frac{Rf}{Ri} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

$$b = \frac{Rf}{Ros} (\pm V) \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Para determinar los parámetros del circuito se calcula la pendiente m

$$m = \frac{Vout2 - Vout1}{Vin2 - Vin1}$$

$$Vin1 \rightarrow Vout1$$

$$Vin2 \rightarrow Vout2$$

Una vez que se conoce m , se selecciona Rf y se calcula Ri de la Ec. 3.4, como se muestra a continuación:

$$Ri = \frac{Rf}{m}$$

Para determinar Ros , sustituyendo los valores de la Ec. 3.4 y 3.5 en la Ec. 3.3 queda de la siguiente manera:

$$Vo = mVi + b \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Entonces despejando b

$$b = Vo - mVi$$

Después se iguala con la Ec. 3.5, y se realiza el despeje de Ros como se muestra a continuación:

$$b = \frac{Rf}{Ros} (\pm V)$$

Despejando Ros

$$Ros = \frac{Rf}{b} (\pm V)$$

Una vez que se obtiene lo anterior se selecciona un valor de fuente ($\pm V$) para obtener Ros .

Finalmente se calcula $Rcomp$

$$Rcomp = Rf \parallel Ri \parallel Ros$$

Para este trabajo se realizaron tres diferentes prototipos de acondicionamiento de la señal, con el fin de comprobar el funcionamiento de cada una de ellas. A continuación se muestran los diferentes diseños para cada una de las señales:

A) Acondicionamiento para la señal de prueba de CD

Aquí se realizó un convertidor de voltaje a voltaje con entrada y salida aterrizadas para una señal de CD, para el cual su valor de entrada es de (0v a 10v) y su valor de salida es (0v a 5v).

Para calcular el acondicionamiento de la señal de CD, se hará uso de las ecuaciones que se mostraron anteriormente (Ec.3.1, 3.2 y 3.3). Se iniciará calculando la pendiente de la recta m .

$$m = \frac{5 - 0}{10 - 0} = 0.5$$

Una vez que se conoce m , se selecciona Rf y se calcula Ri de la Ec. 3.4:

Seleccionando $Rf = 10k\Omega$

$$Ri = \frac{10k\Omega}{0.5} = 20k\Omega$$

Para determinar Ros , se hace uso de la Ec. 3.6 quedando de la siguiente forma:

$$Vo = mVi + b$$

Y entonces se despeja b .

$$b = V_o - mV_i$$

$$b = 5 - 0.5(10) = 0$$

Una vez que se conoce b se despeja R_{os} de la Ec.3.5 y se selecciona un valor de fuente, para este caso es seleccionado de 5V.

$$R_{os} = \frac{10k\Omega *}{0} (5V) = \infty$$

En este caso como $R_{os} = \infty$ esta resistencia se elimina quedando únicamente la siguiente ecuación:

$$V_o = \frac{R_f}{R_i} (V_i) \quad \text{ó} \quad y = mx$$

Para finalizar se calcula R_{comp} :

$$R_{comp} = R_f || R_i$$

$$R_{comp} = \frac{1}{\frac{1}{10k} + \frac{1}{20k}} = 6.67k\Omega$$

Posteriormente el circuito queda como el que se muestra en la figura 3.3.

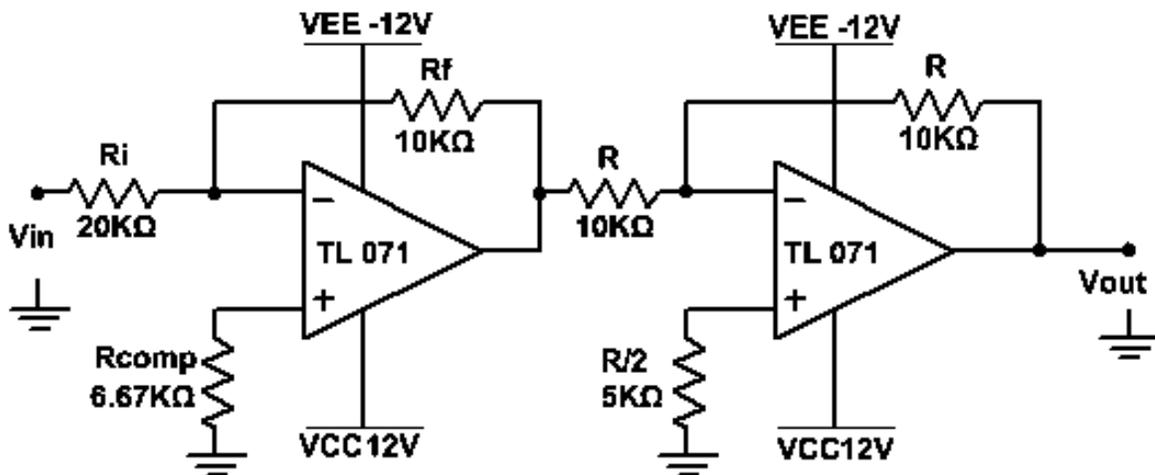


Figura 3. 3 Diseño final del convertidor de voltaje a voltaje para una señal de CD.

B) Acondicionamiento para la señal analógica de pequeña señal.

Aquí se realizará un acondicionamiento para una señal analógica, con valores de entrada de (-10v a 10v) a una salida de (0v a 5v).

Para calcular el acondicionamiento de la señal analógica, se hará uso de las ecuaciones que se mostraron anteriormente (Ec.3.1, 3.2 y 3.3). Y se inicia calculando la pendiente de la recta m .

$$m = \frac{5 - 0}{10 - (-10)} = 0.25$$

Una vez que se conoce m , se selecciona R_f y se calcula R_i de la Ec.3.4.

$$R_i = \frac{R_f}{m}$$

Seleccionando $R_f = 10k\Omega$ queda lo siguiente:

$$R_i = \frac{10k\Omega}{0.25} = 40k\Omega$$

Para determinar R_{os} se utiliza la Ec. 3.6:

$$V_o = mV_i + b$$

Entonces despejando b de la Ec. 3.6 y se realizan los siguientes cálculos:

$$b = V_o - mV_i$$

$$b = 5 - 0.25(10) = 2.5$$

ó

$$b = 0 - 0.25(-10) = 2.5$$

Igualando con la Ec. 3.5

$$b = \frac{R_f}{R_{os}} (\pm V)$$

Despejando R_{os} de la Ec. 3.5 queda como se muestra a continuación:

$$R_{os} = \frac{R_f}{b} (\pm V)$$

Aquí se selecciona un valor de fuente, en este caso es de 5V:

$$R_{os} = \frac{10k}{2.5} (5V) = 20k\Omega$$

Finalmente se calcula R_{comp}

$$R_{comp} = R_f || R_i || R_{os}$$

$$R_{comp} = \frac{1}{\frac{1}{10k} + \frac{1}{40k} + \frac{1}{20k}} = 5.71k\Omega$$

Una vez que se realizaron todos los cálculos, el circuito queda armado de la siguiente manera como muestra la figura 3.4.

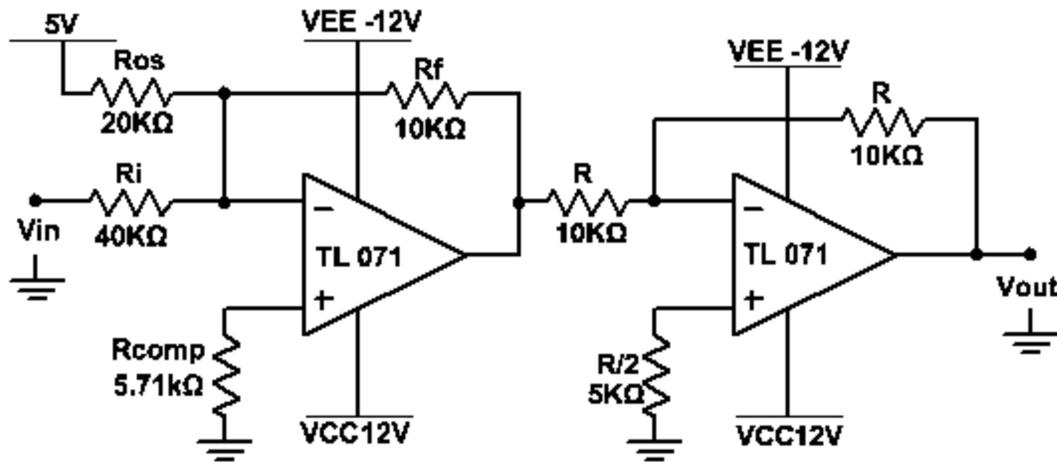


Figura 3. 4 Diseño del convertidor de voltaje a voltaje para una señal analógica

C) Acondicionamiento para una señal digital.

Por último se realizó el acondicionamiento para una señal digital con valores de entrada de (0v a 8v) y una salida de (0v a 5v). Este acondicionamiento se hace muy similar que el acondicionamiento de la señal de CD.

Se inicia calculando la pendiente de la recta

$$m = \frac{5 - 0}{8 - 0} = 0.625$$

Una vez que se conoce m , se selecciona Rf y se calcula Ri de la Ec 3.4

$$Ri = \frac{Rf}{m}$$

Seleccionando $Rf = 10k\Omega$

$$Ri = \frac{10k\Omega}{0.625} = 16k\Omega$$

Para determinar Ros se utiliza la Ec. 3.6

$$Vo = mVi + b$$

Entonces despejando b .

$$b = V_o - mV_i$$

$$b = 5 - 0.625(8) = 0$$

ó

$$b = 0 - 0.625(0) = 0$$

Una vez que se conoce b se despeja R_{os} de la Ec.3.5 y se selecciona un valor de fuente, para este caso es seleccionado de 5v.

$$R_{os} = \frac{10k\Omega * (5V)}{0} = \infty$$

En este caso como $R_{os} = \infty$ esta resistencia se elimina quedando únicamente la siguiente ecuación:

$$V_o = \frac{R_f}{R_i} (V_i) \quad \text{ó} \quad y = mx$$

Finalmente se calcula R_{comp}

$$R_{comp} = R_f || R_i$$

$$R_{comp} = \frac{1}{\frac{1}{10k} + \frac{1}{16k}} = 6.15k\Omega$$

Por último se muestra en la figura 3.5 el acondicionamiento de la señal digital.

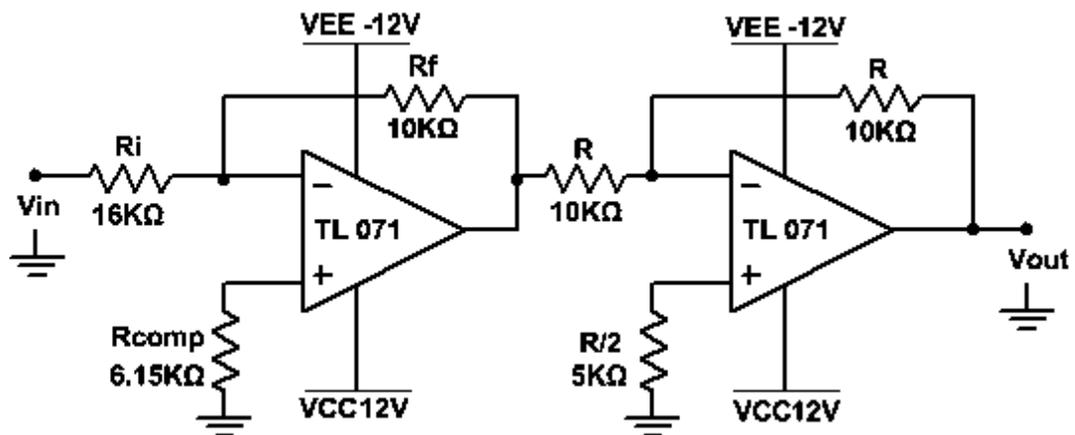


Figura 3. 5 Convertidor de voltaje a voltaje para una señal digital.

Y de esta manera es como se realizó el acondicionamiento de las tres señales que se utilizan para este proyecto.

3.3.2 Diseño de convertidor de voltaje a corriente y de corriente a voltaje

En algunas aplicaciones, tales como en el control de bobinas (electroimanes) y en la transmisión de señales por líneas muy largas, a menudo es preferible adoptar una señal de corriente en lugar de una de voltaje; y en el caso de transmisión de señales de corriente muchas veces es necesario, para recibirlas, convertirlas en señales de voltaje. A continuación se muestran los diseños implementados en este proyecto, respecto a los convertidores V/I y I/V.

I) Diseño de convertidor de voltaje a corriente con carga aterrizada

En muchas ocasiones los sistemas de adquisición de datos están alejados físicamente de los transductores, y se hace necesaria la transformación de señales de voltaje en señales de corriente. Una señal de voltaje sufre atenuación a través de la línea de transmisión debido a la impedancia, el cable utilizado, la temperatura y de que están hechas las conexiones, sin embargo, en un circuito serie la corriente es la misma, se puede suponer que la corriente llega prácticamente intacta hasta el receptor.

El convertidor de voltaje a corriente para carga aterrizada se presenta a continuación:

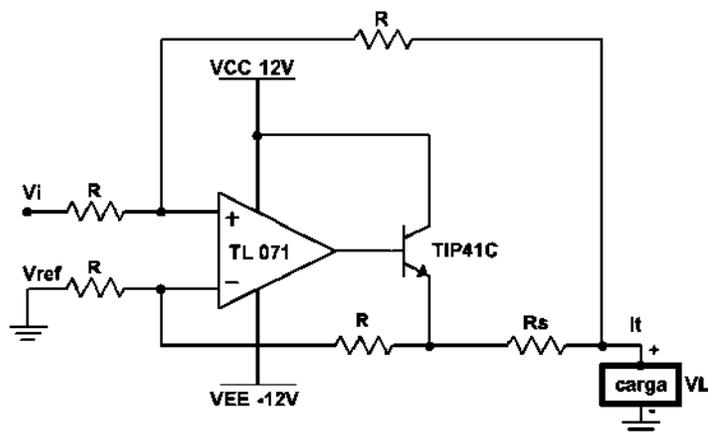


Figura 3. 6 Convertidor de voltaje a corriente para carga aterrizada

En la figura 3.7 se muestra un circuito equivalente para analizar el convertidor de voltaje a corriente.

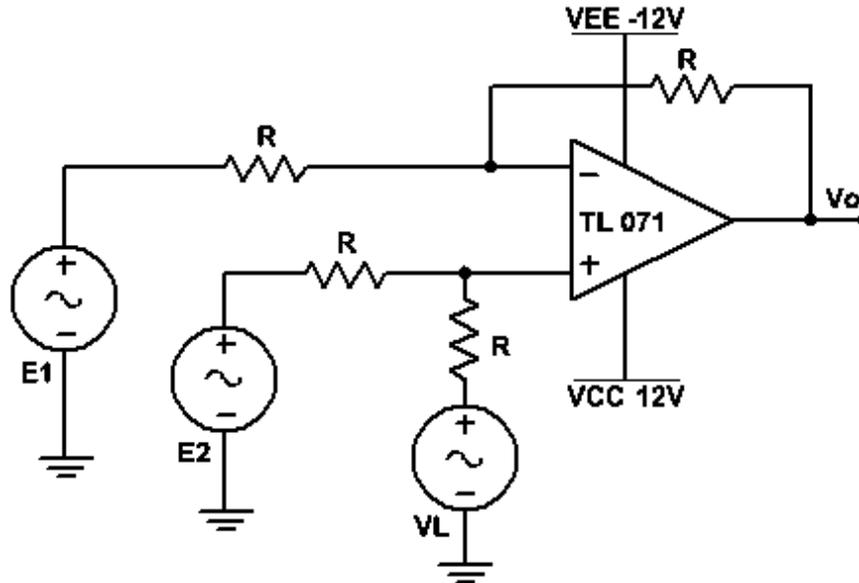


Figura 3. 7 Circuito equivalente del convertidor de voltaje a corriente

Analizando el circuito anterior por superposición se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\text{si } E2 = 0 \text{ y } VL = 0$$

$$V_{O}^{E1} = -E1 = -\frac{R}{R}E1$$

$$\text{si } E1 = 0 \text{ y } VL = 0$$

$$V_{O}^{E2} = \left(1 + \frac{R}{R}\right)V_{+} = 2\left(\frac{1}{2}\right)E2$$

$$V_{+} = \frac{R}{2R}E2 \quad V_{O}^{E2} = E2$$

$$\text{si } E1 = 0 \text{ y } E2 = 0$$

$$V_{O}^{VL} = VL$$

$$V_{O} = V_{O}^{E1} + V_{O}^{E2} + V_{O}^{VL}$$

$$V_{O} = E2 - E1 + VL \quad (\text{Ec. 3.7})$$

El voltaje a través de R_s de la figura 3.6 se obtiene con las siguientes fórmulas:

$$V_{R_s} = V_{O} - VL = E2 - E1 \quad (\text{Ec. 3.8})$$

La corriente en R_s es:

$$I_{R_s} = \frac{V_{R_s}}{R_s} = \frac{E_2 - E_1}{R_s} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Por lo tanto I_t queda de la siguiente manera:

$$I_t \approx I_{R_s} = \frac{E_2 - E_1}{R_s}$$

En el caso de este estudio se desea convertir un Voltaje de entrada de 0v a 5v a una corriente de salida de 0mA a 200mA.

Las ecuaciones que se presentan a continuación son referentes al circuito de la figura 3.6, y son las que se utilizan para calcular este convertidor de voltaje a corriente.

$$I_t \approx \frac{V_i - V_{ref}}{R_s} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

$$I_t \approx \left(\frac{1}{R_s}\right) V_i - \left(\frac{V_{ref}}{R_s}\right)$$

Comprobando con la ecuación de la recta se derivan los siguientes valores:

$$Y = mx + b$$

$$I_t = m * V_i + b$$

$$m = \frac{1}{R_s} \quad b = \frac{-V_{ref}}{R_s}$$

La máxima resistencia de carga se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$R_l < \frac{V_{cc} - V_i + V_{ref} - V_r}{I_t} \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Siendo:

R_l = Máxima resistencia de carga.

V_{cc} = Voltaje de alimentación de la carga.

V_i = Voltaje máximo de entrada del convertidor.

V_{ref} = Voltaje de referencia del convertidor.

V_r = Voltaje de ruptura del transistor, en este caso fue uno de silicio.

I_t = Corriente máxima que transmite.

De esta manera es como se obtiene la máxima resistencia de carga R_l .

$$R_l < \frac{12v - 5v + 0v - 0.7v}{0.2A} = 31.5\Omega$$

Para conocer R_s de la figura 3.6, se hace uso de la ecuación 3.10, pero como el V_{ref} es 0 la ecuación queda como se muestra a continuación:

$$I_t = \frac{V_i}{R_s}$$

Despejando R_s

$$R_s = \frac{V_i}{I_t} = \frac{5V}{0.2A} = 25\Omega$$

Por último, en la figura 3.8 se muestra el convertidor de voltaje a corriente implementado para este caso, donde todas las resistencias R deben tener el mismo valor para que se pueda realizar correctamente la conversión V/I .

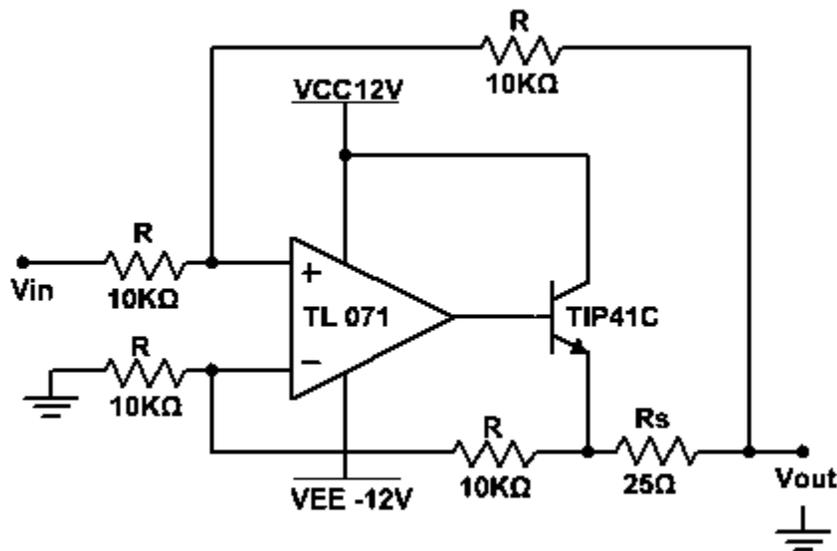


Figura 3. 8 Convertidor de Voltaje a corriente

II) Diseño de convertidor de corriente a voltaje

El convertidor de corriente a voltaje se conoce también como amplificador de transimpedancia. Para realizar el convertidor de corriente a voltaje, se coloca en la entrada del receptor una resistencia aterrizada a tierra, ya que con esto se genera una tensión en la entrada no inversora del operacional, posteriormente, del valor de voltaje que se obtenga a la salida se realiza un acondicionamiento de señal si es

necesario para adecuarlo a los valores que necesite el usuario. Esto se puede llevar a cabo mediante las siguientes ecuaciones.

$$V_o = I_t * R_l \quad (\text{Ec.3.12})$$

$$V_o = \frac{R_f}{R_i} (R_l * I_t) + \frac{R_f}{R_{os}} (\pm V) \quad (\text{Ec. 3.13})$$

Comparando con la ecuación de la recta $Y = mx + b$

$$V_o = \frac{R_f * R_l}{R_i} (I_t) + \frac{R_f}{R_{os}} (\pm V) \quad (\text{Ec. 3.14})$$

$$m = \frac{R_f * R_l}{R_i} \quad b = \frac{R_f}{R_{os}} (\pm V)$$

Un ejemplo de ello se señala en la siguiente figura (3.9).

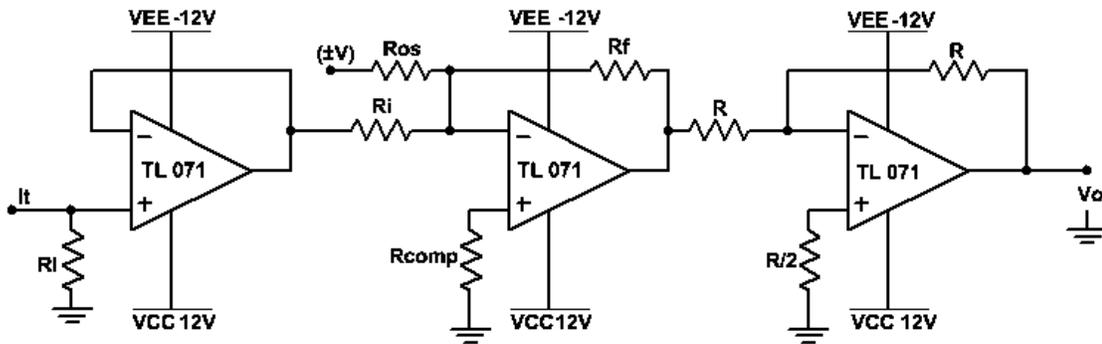


Figura 3. 9 Diagrama del convertidor de corriente a voltaje para una carga aterrizada

En el caso de este proyecto se convirtió una corriente de entrada de 0mA a 200mA a un voltaje de salida de 0v a 5v. Esto se realizó a través de la ley de Ohm, ya que se deseaba tener 5v a la salida para este convertidor.

Por medio de la ley de ohm se calculó el valor de R_l .

$$V = I_t * R_l \quad (\text{Ec. 3.15})$$

Despejando el valor de R_l

$$R_l = \frac{V}{I_t} = \frac{5v}{0.2A} = 25\Omega$$

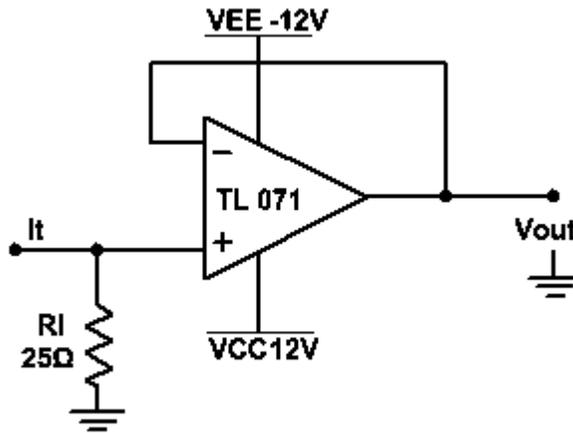


Figura 3. 10 Convertidor de corriente a Voltaje.

Para este estudio se calculó el valor de R_I adecuado para no realizar el acondicionamiento de señal, quedando este convertidor de corriente a voltaje como el que se muestra en la figura 3.10.

3.4 Diseño general de un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente

En este apartado se muestra un esquema general de lo que se implementa en el capítulo posterior, con el fin de que el lector tenga una idea más clara con respecto a cómo es el diseño y construcción de cada uno de los sistemas que se implementaron.

Para realizar esta investigación se llevaron a cabo tres casos prácticos, con el fin de transmitir señales logrando la mínima degradación de las mismas, los cuales se mostrarán con mayor detalle en el siguiente capítulo.

En la figura 3.11 se probaron tres casos con diferentes señales, mismas que se generaron mediante un divisor de voltaje con el cual se simula dicha señal, estos se

implementaron con el fin de poder hacer las mediciones que se muestran en la tabla 4.2, 4.3 y 4.4, con dichas mediciones se comprobó cómo se pueden obtener prácticamente el mismo valor enviado y recibido. Esto demuestra que hubo muy pocas pérdidas en la transmisión de las señales.

Después se realizó un acondicionamiento de señal para cada una de las señales con el fin de poder utilizar el mismo transmisor y receptor para comprobar cada señal en diferente momento, ya que no es posible probar las tres al mismo tiempo.

Posteriormente se implementó un convertidor de voltaje a corriente, esto se hizo con el fin de reducir las pérdidas de la señal a lo largo del canal, debido a que en un circuito serie la corriente es la misma a lo largo del circuito, entonces se puede decir que la resistencia del canal no le afecta a la señal transmitida y se puede recuperar sin pérdidas, aunque a veces sí existen pocas pérdidas debido a que los componentes no son de precisión, entre otros factores.

Una vez que ha llegado la corriente al receptor se hace la conversión inversa, es decir, un convertidor de corriente a voltaje para poder recuperar la señal que se está enviando y poder comprobar que efectivamente existen muy pocas pérdidas, y si es necesario también se puede implementar a la salida otro acondicionamiento de señal para adecuar a un valor deseado, en este caso no fue necesario realizar otro acondicionamiento.

La figura 3.11 que se muestra a continuación señala un panorama general del diseño que se implementa para este estudio, sin embargo, aún hace falta especificar algunos detalles los cuales se explicaran en el capítulo número 4.

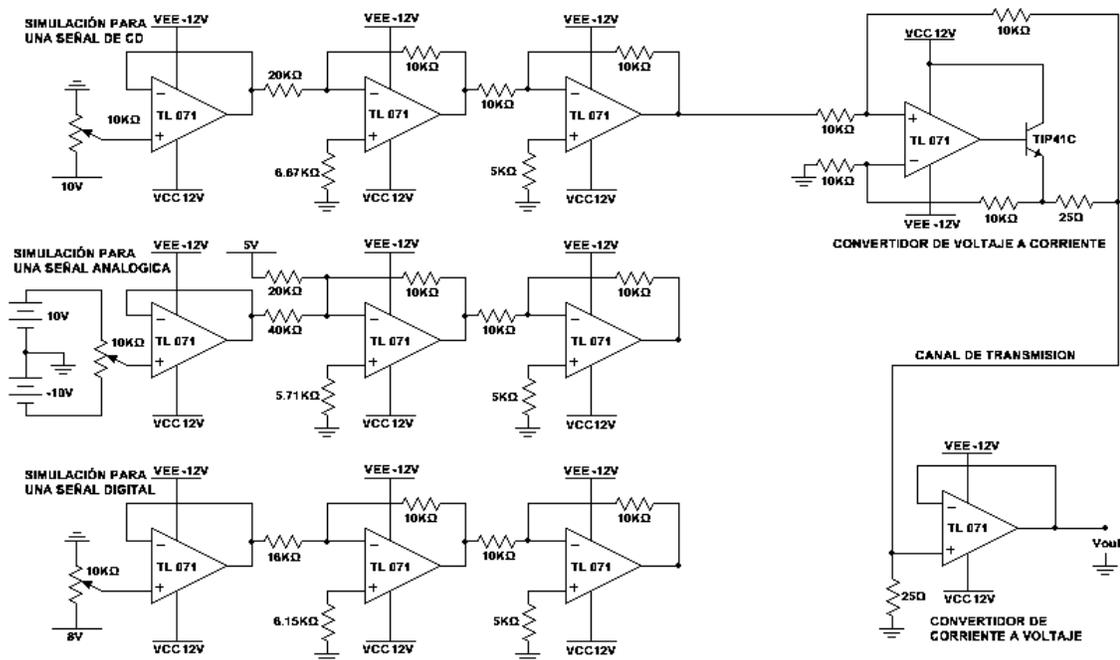


Figura 3. 11 Prototipo general que se implementará en el siguiente capítulo.

Para la señal analógica se diseñó un puente de Wien con el fin de generar una señal sinusoidal y comprobar dicho funcionamiento sin necesidad de utilizar el generador de funciones, este diseño se desarrolla detalladamente en el apartado 4.4 del capítulo 4. Para comprobar la señal digital se generó un tren de pulsos con una frecuencia baja que se pudiera percibir, esta señal se realizó con un oscilador en modo estable el cual está desarrollado con más detalle en el apartado 4.5 del capítulo 4.

Todo lo anterior sólo es un previo panorama de la práctica, este subtema se realizó a modo de resumen acerca del diseño de un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente para que se tenga una mejor visualización general de su construcción, subtema que se desglosará en el capítulo que continúa.

CAPÍTULO 4 CASOS PRÁCTICOS DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN POR CORRIENTE

Con este capítulo se ha llegado a la etapa en la que se lleva a cabo la práctica e implementación del diseño expuesto con anterioridad en este proyecto. De igual manera, también se lleva a cabo el contraste en relación a lo que se ha venido hablando teóricamente y lo que se observa al momento de implementar físicamente los diseños de los convertidores de señal.

4.1 Estructura metodológica de la investigación

Para iniciar este capítulo, es importante que se recapitule un poco sobre lo que se ha venido trabajando para no perder de vista el propósito de esta tesis, el cual consta en conocer, comprender y explicar cómo es un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente y comprobar su funcionamiento en la transmisión de señales a larga distancia buscando obtener menores pérdidas de información.

Para lograr lo anterior, es importante establecer la metodología de todo el proyecto. La metodología es el estudio de los métodos, así como lo menciona Benitez cuando dice que: *Metodología significa: Ciencia del método, pues deriva del griego métodos, método y logos, tratado. Método, a su vez proviene de metha, hacía o fin y hodos, camino. La metodología es el estudio de los métodos. El método es un camino para llegar a un fin. Metodología se define como el estudio analítico y crítico de los métodos de investigación [16].*

En investigación se manejan dos enfoques, uno es el cualitativo y el otro es el cuantitativo, el primero se basa en el estudio de la realidad social y experiencias de

los participantes, y el segundo estudia la realidad natural, lo que es medible y cuantificable. Una vez conociendo dichos enfoques, se puede decir que para la presente investigación se hace uso del enfoque cuantitativo.

Se puede definir el enfoque cuantitativo como un *enfoque que usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Debido a que los datos son producto de mediciones, se representan mediante números (cantidades) y se deben analizar a través de métodos estadísticos* [17].

Es importante que en un trabajo de investigación, una vez que se haya definido el enfoque, se elija un método de trabajo. *El método es un modo ordenado de proceder para alcanza un fin determinado* [18], por tanto, el método utilizado para esta investigación y de acuerdo con el enfoque cuantitativo que se ha establecido, es el método experimental, en el cual el investigador manipula una o más variables de estudio.

Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

La investigación experimental puede definirse entonces como: *un tipo de método de investigación en el que se recopilan datos para comparar las mediciones de comportamiento de un grupo control. Se reproduce y se observa varias veces el hecho o fenómeno que se quiere estudiar, modificando las circunstancias que se consideren convenientes, midiendo variables y obteniendo datos, en condiciones controladas* [19].

Esto es, se crean situaciones artificiales para tener la posibilidad de probar, elaborar y refinar el conocimiento con el propósito de incrementar la comprensión y el conocimiento del comportamiento de las variables relevantes que intervienen en los fenómenos. Los componentes principales del experimento son: la observación, el control y la medición.

En el caso de este proyecto, se desarrolló una situación simulada en la que la variable independiente es el voltaje de entrada, se manipula, se controla su aumento o disminución. Entonces, depende cómo se manipule la variable independiente (Voltaje de entrada), ocurre un efecto en la variable dependiente (Voltaje de salida). Y por consiguiente, a medida que V_i aumenta o disminuye entonces V_o aumenta o disminuye también, según sea el caso. Ya que de lo que se trata es de que el proceso sea lineal, es decir, la misma señal de entrada, debe ser la misma en la salida, sin sufrir cambios, como degradaciones o atenuación de la señal.

Después de establecer el enfoque y el método en una investigación, se eligen las técnicas que sirven de guía para llevar a cabo dicho estudio. Literalmente el método indica qué se va a realizar, las técnicas responden al cómo se va a llevar a cabo lo que plantea el método, y los instrumentos indican con qué herramientas se van a llevar a cabo las técnicas del estudio.

En el caso de este proyecto, las técnicas que se utilizaron fueron la investigación documental, la cual permitió investigar la información teórica y tomar algunas referencias de autores que hablan respecto al tema para sustentar esta tesis, en seguida y durante la práctica del diseño del sistema de instrumentación de corriente, se empleó la manipulación de las variables, la observación, el registro y análisis de datos (tablas y gráficas) para obtener información y conocimiento.

Por último, dentro de la metodología de la investigación, se eligen los instrumentos de trabajo, que son las herramientas utilizadas por el investigador para recolectar la información de la muestra seleccionada y poder resolver el problema de la

investigación; estos van a depender de acuerdo al área académica y tema seleccionado, en el caso de este proyecto, se encuentra dentro del campo de la electrónica y para su desarrollo se utilizaron como instrumentos el osciloscopio, generador de señales, multímetros, cuaderno de notas, entre otros.

4.2 Implementación Física de los convertidores

La figura 4.1 que se señala a continuación, muestra el prototipo completo de los convertidores que se implementaron para la comprobación de las tres señales de prueba. Se decidió hacer este apartado para tener una mejor visualización de cómo es que se llevó a cabo el diseño y la práctica de la comprobación de estas señales. Las señales se comprobaron con el fin de verificar que lo que se dice en la teoría puede suceder en la práctica, y así de este modo, quede aún más clara la interpretación del tema.

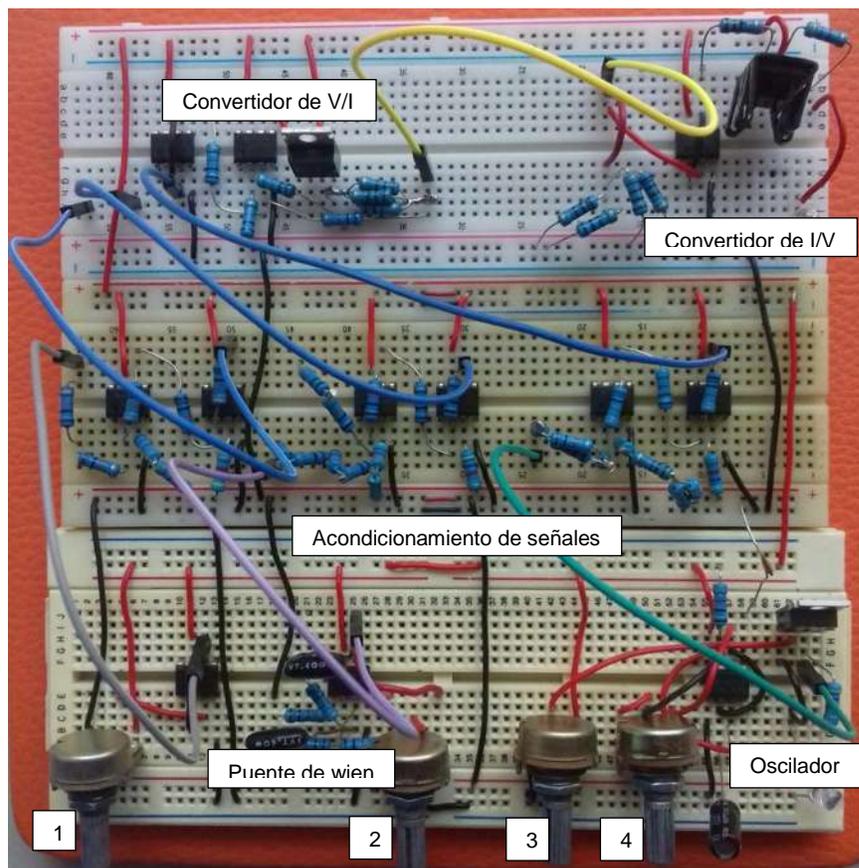


Figura 4. 1 Circuito implementado para la comprobación de las tres señales

Cabe mencionar que con el potenciómetro número 1 que se muestra en la figura 4.1 se hace un divisor de voltaje de 10v para la señal de prueba de CD. Los cables en color azul muestran la salida de cada uno de los acondicionamientos de señales y el cable amarillo representa el medio o canal por el cual se transmite la corriente.

El potenciómetro número 2 se utiliza para poder arrancar el puente de Wien y lograr ajustar la señal para que quede lo más sinusoidal posible. Respecto al potenciómetro número 3, se realizó un divisor de voltaje de 8 V, pues así se decidió establecer dicho valor para la señal digital. Y con el potenciómetro número 4 se incrementa o disminuye la frecuencia del oscilador. La descripción anterior es a groso modo, ya una descripción un poco más detallada se hace en el subtema siguiente.

4.3 Comprobación de la señal de CD

Para comprobar la señal de CD se llevó a cabo la implementación del circuito que se muestra a continuación en la figura 4.2.

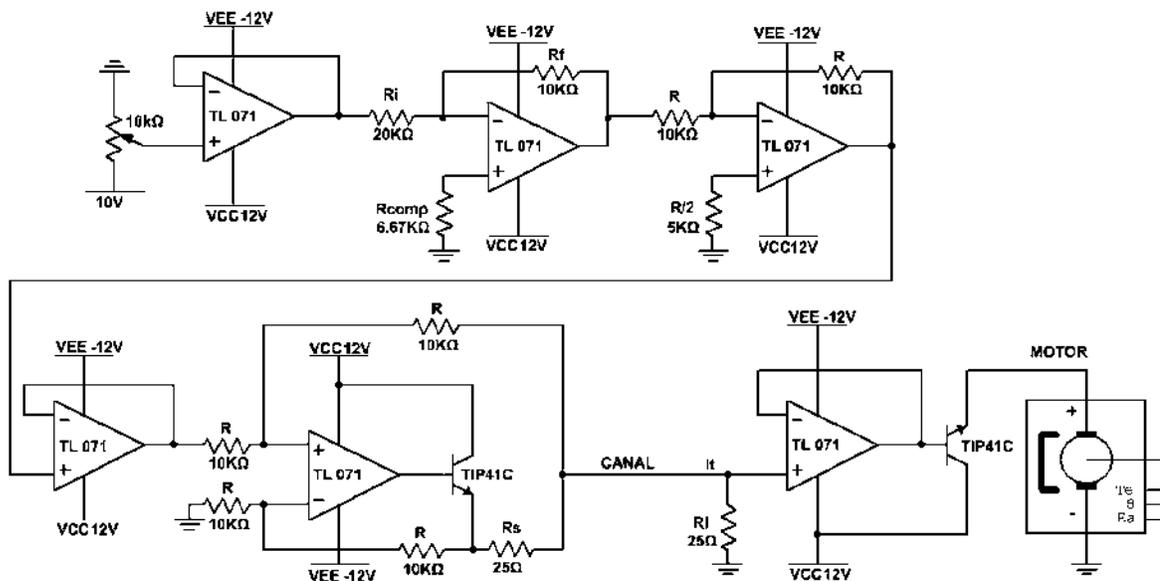


Figura 4. 2 Circuito implementado para la señal de prueba de CD

Como se puede observar en la figura 4.2, en la entrada se colocó un potenciómetro con el fin de tener un divisor de voltaje y poder variar el voltaje para comprobar dicha señal, y poder realizar las mediciones que se muestran en la tabla 4.2. Una vez que se obtuvo el divisor se hizo un aislamiento de la señal para que no se modificara el valor de la resistencia de entrada (R_i), después se implementó un acondicionamiento de señal en el cual se convirtió una señal de 0v a 10v de entrada a una salida de 0v a 5v, esto se hizo para tener un rango establecido debido a que se realizará para tres señales diferentes.

Posteriormente se implementó otro aislamiento de señal con el fin de aislar las etapas y que no existan variaciones en los componentes, en seguida se hizo un convertidor de voltaje a corriente, el cual convierte una señal de 0v a 5v a una corriente de 0mA a 200mA, se realizó este convertidor con el fin de poder enviar una corriente, debido a que la corriente en un circuito serie es la misma, es decir, no se ve afectada por la resistencia del cable que se utilizó por el canal.

Ya que si se hubiera transmitido por voltaje con una pequeña variación en la resistencia del canal hubiera modificado significativamente la señal y esta llegaría distorsionada o incluso no se puede parecer nada a la señal enviada. Una vez que la corriente llega al receptor se implementa un convertidor de corriente a voltaje para obtener el voltaje de entrada que se envió, y si es necesario, se puede implementar otro acondicionamiento de señal a la salida para ajustarlo a un valor deseado.

Una vez que se realizó se comprobó su funcionamiento, para llevar a cabo esto, a la salida del convertidor de corriente a voltaje se agregó un transistor Tip 41 con el fin de poder tener una etapa de potencia, una vez implementado lo que se mencionó anteriormente se hizo la prueba con un motor de CD el cual variaba su velocidad cuando se hacía una modificación en el divisor de voltaje que se efectuó en la entrada.

Como se puede apreciar en la figura 4.2, se colocaron las resistencias con valores precisos, pero en la práctica no fue así, debido a que no son comunes algunos valores de resistencias, para resolver esto se tuvieron que hacer algunos arreglos con las resistencias con el fin de acercarse al valor deseado. Otro factor importante, es que las resistencias tienen una tolerancia de 5%, como es el caso de las que se utilizaron en este proyecto. A continuación en la tabla 4.1 se enlista el material que se utilizó colocando los valores que fueron medidos con el multímetro MUT-33.

LISTA DE MATERIAL UTILIZADO PARA LA SEÑAL DE CD

Nombre	Valor deseado	Valor medido
R	10k Ω	8.11k Ω
R _i	20k Ω	20.2k Ω
R _f	10k Ω	10.1k Ω
R _{comp}	6.67k Ω	6.54k Ω
R	10k Ω	10.03k Ω
R	10k Ω	10.05k Ω
R/2	5k Ω	4.63k Ω
R	10k Ω	9.90k Ω
R	10k Ω	9.96k Ω
R	10k Ω	9.70k Ω
R _s	25 Ω	25.4 Ω
R	10k Ω	10.01k Ω
R _I	25 Ω	25.5 Ω
A.O	TI 071CP	
Transistor	Tip 41C	

Tabla 4. 1 Lista de material utilizado para la señal de CD

En seguida, la tabla 4.2 muestra las mediciones que se realizaron para poder comprobar el funcionamiento del circuito implementado en este estudio, para lograr esto se hizo un divisor de voltaje con un potenciómetro en la entrada del convertidor, con el cual se variaba el voltaje para poder hacer las mediciones que se muestran en la tabla 4.2.

Como puede observarse, en la tabla 4.2 el voltaje de entrada del convertidor de voltaje a corriente es muy semejante al voltaje de salida, se puede notar que tienen

unas pequeñas variaciones, esto es debido a que los componentes tienen un porcentaje de error y a que se hicieron aproximaciones en algunos valores de las resistencias, debido a que en los cálculos se obtuvieron algunos valores que no son comerciales. Otro factor que se puede notar es que la corriente y el voltaje son lineales, por último se puede concluir que se obtuvieron valores muy cercanos a los valores deseados.

MEDICIONES OBTENIDAS DE LA SEÑAL DE CD

Vi (voltaje de entrada).	Voltaje de entrada del convertidor de voltaje a corriente.	Corriente transmitida por el canal.	Vo (voltaje de salida).
0.50 volts	0.25 volts	9.9 mA	0.24 volts
1.01 volts	0.50 volts	20 mA	0.50 volts
1.49 volts	0.75 volts	29.6 mA	0.74 volts
2.01 volts	1.01 volts	39.8 mA	0.99 volts
2.51 volts	1.26 volts	49.9 mA	1.24 volts
3.04 volts	1.52 volts	60.4 mA	1.50 volts
3.50 volts	1.75 volts	69.5 mA	1.73 volts
4.02 volts	2.02 volts	79.9 mA	1.99 volts
4.50 volts	2.25 volts	89.6 mA	2.23 volts
5.02 volts	2.52 volts	100.1 mA	2.49 volts
5.50 volts	2.77 volts	109.7 mA	2.73 volts
6.02 volts	3.02 volts	120.1 mA	2.99 volts
6.50 volts	3.26 volts	129.9 mA	3.22 volts
7.01 volts	3.52 volts	140.4 mA	3.48 volts
7.53 volts	3.78 volts	150.9 mA	3.74 volts
8.00 volts	4.02 volts	160.6 mA	3.98 volts
8.51 volts	4.28 volts	171.3 mA	4.24 volts
9.01 volts	4.52 volts	181.9 mA	4.48 volts
9.51 volts	4.78 volts	191.9 mA	4.74 volts
10 volts	5.03 volts	197.1 mA	4.99 volts

Tabla 4. 2 Valores obtenidos para la señal de CD

En la figura 4.3 que se muestra a continuación, se señala físicamente la comprobación de la señal de CD, con lo cual se corrobora lo teórico con lo práctico, debido a que se obtuvieron resultados favorables respecto al objetivo propuesto en este estudio. Dicho resultado se comprobó colocando un motor a la salida, como lo indica la figura 4.2, en el cual se observó cómo variaba la velocidad del motor cuando se incrementaba o disminuía el voltaje de salida.

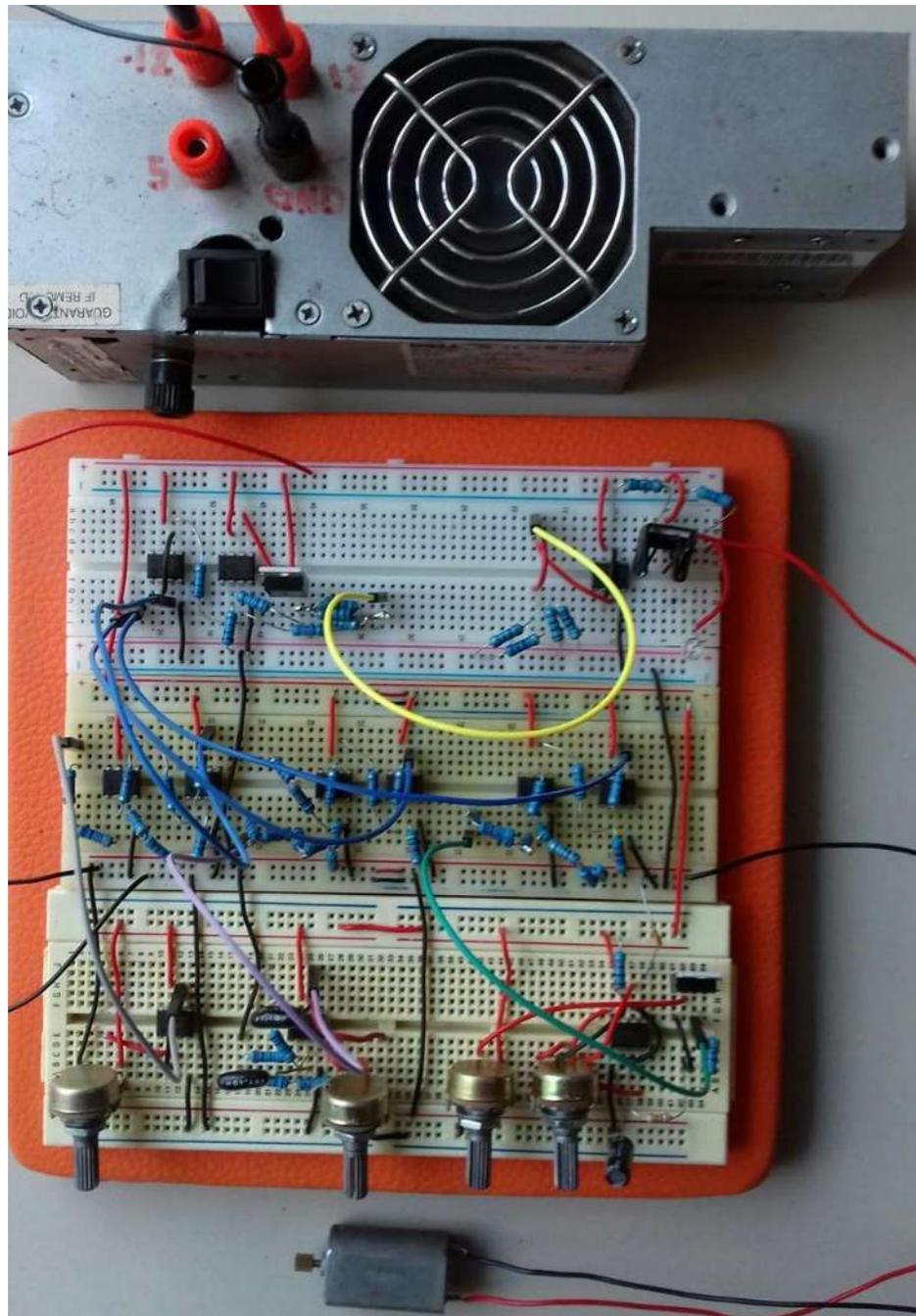


Figura 4. 3 Circuito físico que se implementó para comprobar la señal de CD

4.4 Comprobación de la señal analógica

Para realizar la comprobación de la señal analógica se realizó la implementación del circuito que se muestra en la figura 4.4.

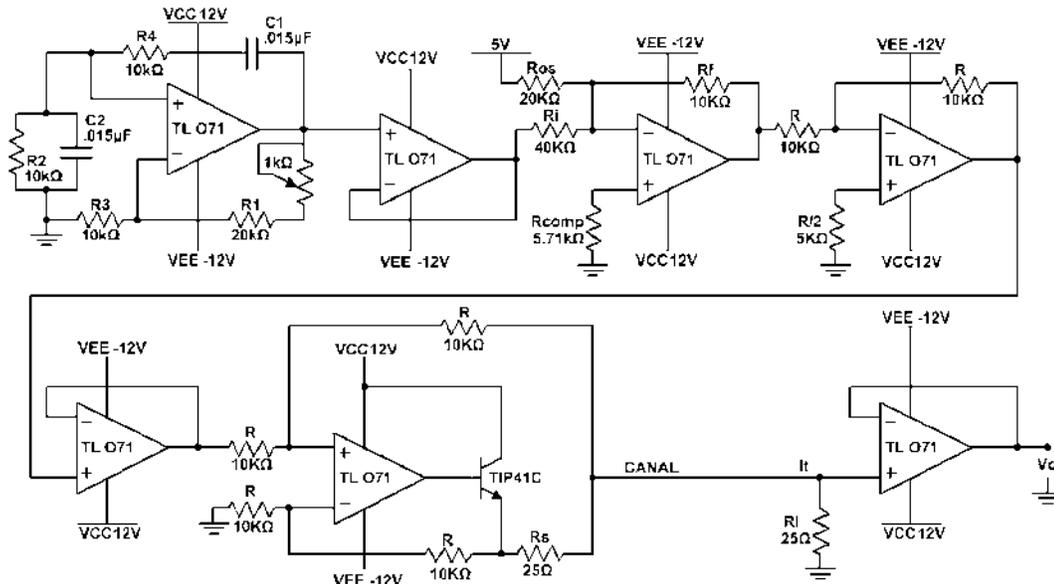


Figura 4. 4 Circuito implementado para la señal analógica

Para comprobar la señal analógica fue necesaria la utilización del oscilador puente de Wien, este es un oscilador utilizado para generar ondas sinusoidales que van desde los 5 Hz a los 5 MHz. Originalmente desarrollado por el físico alemán Max Wien en 1981. El circuito básico consta de una amplitud y una red de adelanto/atraso compuesto de dos redes RC, una en serie y otra en paralelo. Los dos valores de resistencias R2 y R4 y condensadores C1 y C2 que se muestran en la figura 4.4 deben ser del mismo valor. La ganancia del amplificador está dada por las resistencias R1 y R3.

La ganancia que debe tener este amplificador debe compensar la atenuación causada por las redes RC (red de realimentación positiva conectada a la patilla no inversora del amplificador operacional). Esta ganancia debe estar por encima de 1 para asegurar la oscilación. Se utiliza generalmente en instrumentos de medida y

generadores de señales de baja frecuencia para laboratorios y servicios de electrónica.

Para diseñar este oscilador se parte de la frecuencia deseada, para este caso se diseñó de 1KHz.

La fórmula para calcular la frecuencia se muestra en la Ec. 4.1.

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (\text{Ec 4.1})$$

Siendo:

f = Frecuencia deseada.

R = Resistencia.

C = Capacitor.

Los demás son valores constantes.

Considerando que es mucho más sencillo formar una resistencia en base con las que hay con valor comercial, se propone un valor comercial de capacitor, el cual se seleccionó de $0.015\mu f$. Una vez que se selecciona la frecuencia de oscilación y se selecciona el capacitor se despeja R de la ecuación 4.1 quedando de la siguiente forma.

$$R = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 * \pi * 1Khz * .015\mu f} = 10.61k\Omega$$

Conociendo que un valor comercial de resistencia es de $10k\Omega$ se selecciona una de ellas. Las resistencias $R1$ y $R3$ deben mantener una relación de 2.

$$\frac{R1}{R3} = \frac{20K}{10K} = 2$$

La resistencia $R3$ se seleccionó de $10k\Omega$ por lo que $R1$ deberá de ser de $20k\Omega$ pero como es un valor crítico para la oscilación se coloca un potenciómetro en serie con $R1$.

Una vez que se implementó el oscilador puente de wien se realizó un aislamiento de señal con el fin de aislar las etapas para evitar las interferencias de los

componentes vecinos, después se realizó un convertidor de voltaje a voltaje el cual convierte una señal de entrada de -10v a 10v a una señal de salida de 0v a 5v y posteriormente se reutilizaron los convertidores que se utilizaron para la señal de prueba de CD.

Para comprobar su funcionamiento fue necesario utilizar el osciloscopio, para poder comparar las señales de entrada y salida. Como se observa en la figura 4.5 se tienen la señal de entrada que está en color azul y la de salida en color amarillo, se puede observar que se obtienen los resultados esperados debido a que se está introduciendo una señal de 20vpp , y como se puede observar a la salida se tiene una señal de 5vpp como se esperaba.

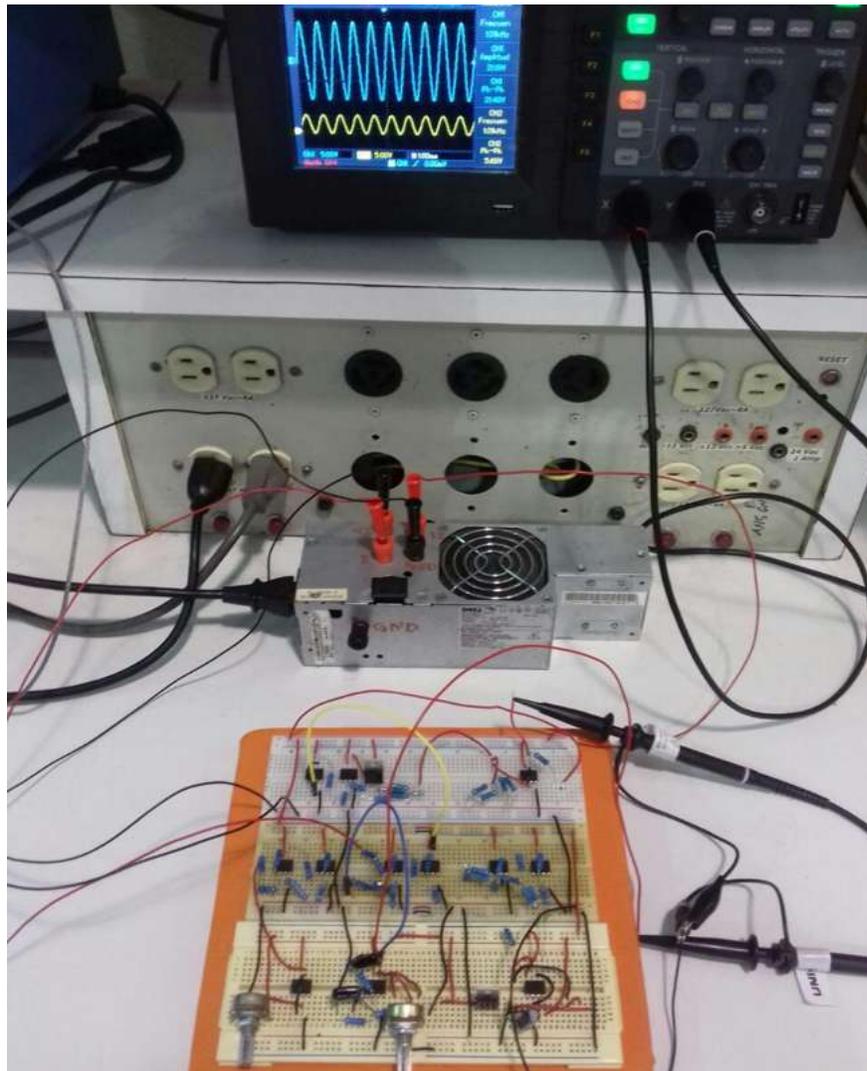


Figura 4. 5 Comprobación de la señal analógica

Finalmente en la figura 4.6 se muestra en color azul la señal que recibe el convertidor de voltaje a corriente, la cual la transforma en corriente y es enviada hacia el receptor, una vez que llega al receptor se utiliza el convertidor de corriente a voltaje, siendo este la salida. Y en color amarillo se muestra la señal de salida obtenida como se puede observar en la figura 4.6, estas señales son idénticas con lo cual se concluye que se obtuvieron resultados muy aproximados al resultado esperado.



Figura 4. 6 Comparación de la señal del transmisor y receptor

Después se generó un divisor de voltaje con una fuente simétrica para poder hacer la comprobación de esta señal, este divisor que se implementó representa la simulación de lo que realiza el puente de Wien, una vez implementado se llevaron a cabo las mediciones que se muestran en la tabla 4.3, con las cuales se puede corroborar que se obtuvieron valores muy semejantes, con lo que se concluye que es favorable el resultado obtenido.

MEDICIONES OBTENIDAS DE LA SEÑAL ANALÓGICA

Vi (voltaje de entrada).	Voltaje de entrada del convertidor de voltaje a corriente.	Corriente transmitida por el canal.	Vo (voltaje de salida).
-10.02 volts	-0.06 volts	-02.6 mA	-0.06 volts
-9.09 volts	0.16 volts	6.5 mA	0.16 volts
-8 volts	0.44 volts	17.7 mA	0.44 volts
-7.01 volts	0.69 volts	27.4 mA	0.68 volts
-6 volts	0.95 volts	37.6 mA	0.94 volts
-5 volts	1.20 volts	47.5 mA	1.19 volts
-4 volts	1.45 volts	57.6 mA	1.44 volts
-3.02 volts	1.71 volts	67.5 mA	1.69 volts
-2 volts	1.96 volts	77.8 mA	1.94 volts
-1.03 volts	2.21 volts	87.6 mA	2.19 volts
0.02 volts	2.48 volts	98.5 mA	2.46 volts
1.01 volts	2.74 volts	108.7 mA	2.71 volts
2.02 volts	2.99 volts	119.1 mA	2.96 volts
3.01 volts	3.24 volts	129.1 mA	2.21 volts
4.00 volts	3.49 volts	139.4 mA	3.46 volts
5.01 volts	3.75 volts	149.4 mA	3.72 volts
6.00 volts	4.01 volts	159.9 mA	3.96 volts
7.01 volts	4.26 volts	170.5 mA	4.22 volts
8.01 volts	4.51 volts	181.1 mA	4.47 volts
9.00 volts	4.77 volts	192.0 mA	4.73 volts
10.02 volts	5.02 volts	197.2 mA	4.99 volts

Tabla 4. 3 Valores obtenidos para la señal analógica

4.5 Comprobación de la señal digital

Para comprobar la señal digital se implementó el circuito que se muestra en la figura 4.7, en el cual se tuvo que realizar un temporizador en modo estable con el fin de poder generar un tren de pulsos para simular dicha señal, una vez que se implementó el temporizador en modo estable se le colocó una resistencia de 100Ω en la salida del oscilador con la base de un transistor Tip 41, posteriormente se generó un divisor de voltaje con un potenciómetro para obtener 8 Volts debido a que fue éste el valor deseado para la señal digital.

Una vez que se obtuvo el voltaje deseado de salida, se le inyectó al transistor en el colector para poder tener así una señal digital de 8 volts como fue deseado, para tener una mejor comprensión se puede observar la figura 4.7 que se muestra a continuación.

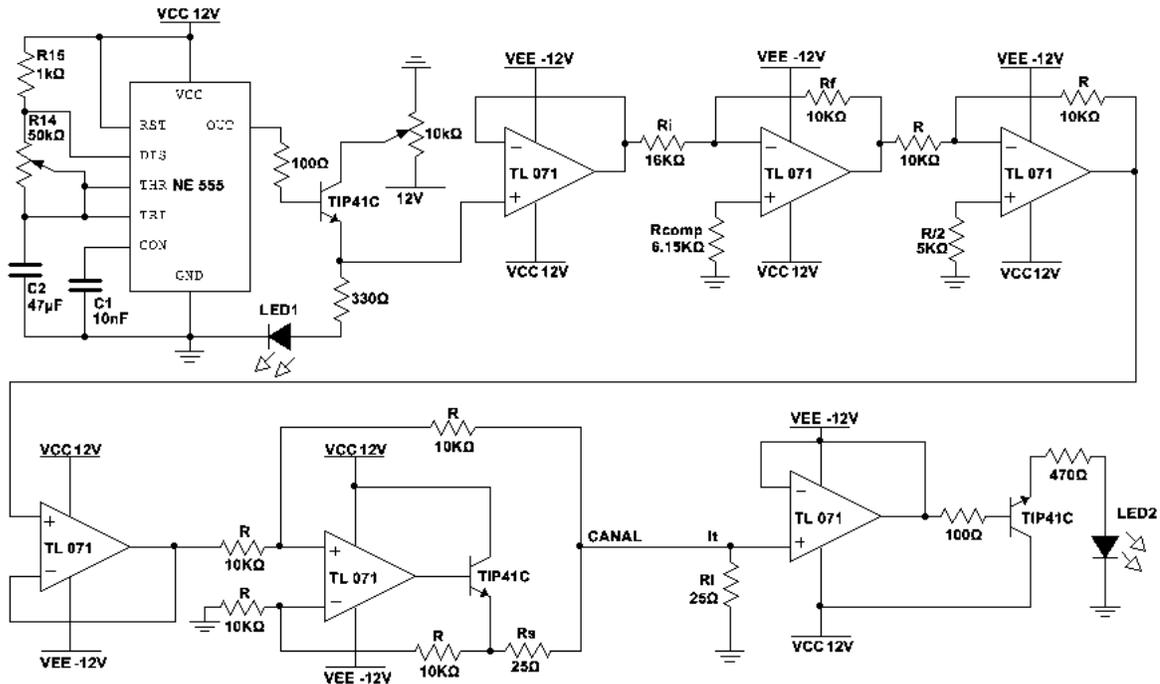


Figura 4. 7 Circuito implementado para la señal digital

Funcionamiento del temporizador:

Este tipo de funcionamiento del temporizador NE555, se caracteriza por tener una salida con forma de onda cuadrada (o rectangular) continua de ancho predefinido por el diseñador del circuito y que se repite en forma continua.

La señal de salida tiene un nivel alto por un tiempo T_1 y un nivel bajo por un tiempo T_2 . Los tiempos de duración, tanto en nivel alto como en nivel bajo, dependen de los valores de las resistencias R_{14} y R_{15} y del capacitor C_2 que se muestran en la figura 4.7.

Los tiempos de los estados alto y bajo de la onda de salida se muestran en las siguientes ecuaciones:

$$T1 = 0.693 * (R14 + R15) * C2(\text{en segundos}) \quad (\text{Ec. 4.2})$$

$$T2 = 0.693 * R14 * C2(\text{en segundos}) \quad (\text{Ec. 4.3})$$

La frecuencia de oscilación de la onda de salida está dada por la fórmula:

$$f = 1/[0.693 * C2 * (R15 + 2 * R14)]$$

El periodo es el inverso de la frecuencia como se muestra en la ecuación 4.4:

$$T = 1/f \quad (\text{Ec. 4.4})$$

Una vez que se obtuvo la señal digital generada con el oscilador astable, se implementó un aislamiento de señal, posteriormente se realizó el acondicionamiento de la señal que se llevó a cabo en el apartado 3.3.1 del capítulo número 3. Posteriormente se efectuó otro aislamiento de señal, después se reutilizaron los convertidores de voltaje a corriente y de corriente a voltaje que fueron utilizados para las señales anteriores y poder hacer las mediciones necesarias.

Para realizar la comprobación de esta señal se colocó un led en la salida del Temporizador y otro led a la salida del convertidor de corriente a voltaje para poder comprobar dicho funcionamiento, cuando se estaba realizando la comprobación se pudo observar que prendían y apagaban los dos leds al mismo tiempo, esto indica que el convertidor funcionó adecuadamente. En la figura 4.8 se puede observar cuando los dos led están prendidos, el led azul indica la señal de entrada y el led verde la señal de salida

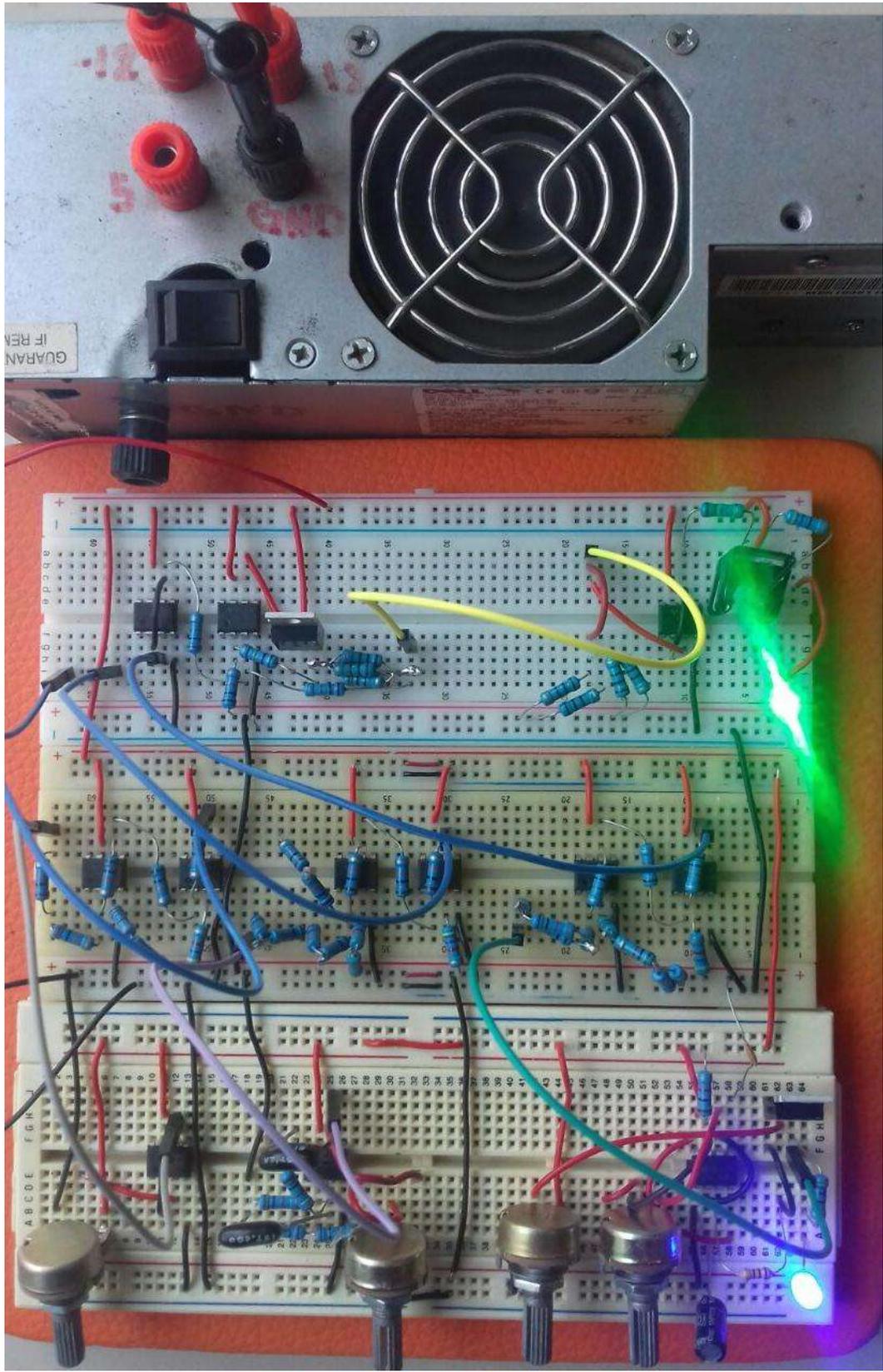


Figura 4. 8 Visualización de imagen en funcionamiento

A continuación se elaboró una tabla con las mediciones necesarias para poder comprobar dicho funcionamiento, lo cual se realizó muy similar a la señal de prueba de CD, la cual se puede corroborar que estamos muy cerca de los valores esperados dicho esto se puede concluir que se logró lo deseado de este proyecto.

MEDICIONES OBTENIDAS DE LA SEÑAL DIGITAL

Vi (voltaje de entrada).	Voltaje de entrada del convertidor de voltaje a corriente.	Corriente transmitida por el canal.	Vo (voltaje de salida).
0.50 volts	0.30 volts	12.2 mA	0.30 volts
1.03 volts	0.63 volts	25.1 mA	0.62 volts
1.51 volts	0.92 volts	36.5 mA	0.91 volts
2.01 volts	1.23 volts	48.8 mA	1.22 volts
2.51 volts	1.54 volts	60.9 mA	1.52 volts
3.04 volts	1.87 volts	74.1 mA	1.85 volts
3.51 volts	2.16 volts	85.5 mA	2.14 volts
4.00 volts	2.46 volts	97.5 mA	2.43 volts
4.51 volts	2.77 volts	110.2 mA	2.74 volts
5.05 volts	3.10 volts	123.6 mA	3.07 volts
5.51 volts	3.39 volts	134.7 mA	3.36 volts
6.03 volts	3.71 volts	148.1 mA	3.67 volts
6.51 volts	4.01 volts	160.8 mA	3.97 volts
7.01 volts	4.31 volts	172.9 mA	4.27volts
7.50 volts	4.62 volts	185.6 mA	4.58 volts
8.06 volts	4.96 volts	197.2 mA	4.92 volts

Tabla 4. 4 Valores obtenidos para la señal digital

4.6 Ejemplo de aplicaciones y uso de los sistemas de instrumentación por corriente como el que fue realizado en este proyecto

Para concluir con los capítulos de la teoría y la práctica que enmarcan la elaboración de este trabajo de tesis, es importante mencionar cuáles son algunos casos dónde se puede utilizar un sistema de instrumentación con medio de transmisión de

corriente como el que se implementó en este proyecto, con el fin de darle al desarrollo de este estudio mayor mérito y valor.

La presentación y transmisión de la información, datos y señales debe ser adecuada con el fin de presentarse de una manera elaborada e integrada, y que se preste a la fácil interpretación del o los usuarios. La señal debe adecuarse de acuerdo a necesidades específicas. En el diseño y construcción de un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente, como es el caso de este proyecto, unos de los principales procesos que se realizaron fue el de acondicionamiento y convertidores de V/I y I/V.

La amplificación, como su nombre lo expresa, consiste en incrementar el valor de magnitud de la señal para así poder manipularla. En electrónica se utilizan los amplificadores operacionales para realizar dicho proceso, en este trabajo se utilizó el TL 071.

En el proceso del sistema de instrumentación se requiere el uso de tecnología para conformar de manera física dicho sistema, la aplicación de los sistemas de instrumentación son comunes por sus ventajas significativas, como son el permitir un rango dinámico de tiempos más amplio, las señales eléctricas se adecuan más a las formas de transmisión de datos, entre otras.

Los conceptos de sistemas de instrumentación en la transmisión de datos y señales aparecen en una variedad de campos y áreas diversas de la ciencia y la tecnología, por ejemplo, en las comunicaciones, aeronáutica, astronáutica, electrónica, sismología, control de procesos químicos, entre otras. En algunas de estas áreas, las señales en la implementación de los sistemas varían de forma continua en el tiempo, mientras que en otros en puntos discretos en el tiempo.

Estos sistemas, como el que se realizó en este proyecto, dentro del área de la electrónica, se utilizan en transmisiones por cables, diseños e implementación de

circuitos electrónicos, en los PLC's, sensores, relevadores, transmisores, entre otros.

Los sistemas de instrumentación con medio de transmisión de corriente permiten transformaciones de señales, las señales eléctricas resultan más apropiadas para introducirse en un procesador, permitiendo un medio potente de registro, transformación y presentación de información, la tecnología electrónica actual para este proceso presenta mejores beneficios y costos.

Actualmente muchos sistemas de instrumentación están basados en sistemas computacionales, dicho sistema resuelve todos los aspectos relacionados con el procesado de la señal, registro, transferencia y la presentación de información. La diferencia que existe con un sistema de instrumentación convencional es la capacidad de registro de información de forma automática y la manera integrada de presentarla al usuario.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Finalmente para concluir con este proyecto de investigación, se ha llegado a la parte donde se redactan las reflexiones finales que se han podido generar a través del trabajo teórico y práctico de este estudio. Y a su vez algunas recomendaciones que se pueden dar de acuerdo a la experiencia en la realización de este proyecto.

Con respecto a la teoría y práctica en este proyecto, el sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente en esta tesis tuvo resultados favorables. Retomando el objetivo propuesto en el capítulo uno, se puede decir que con esta investigación se pudo conocer, comprender y explicar que puede ser posible que un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente transmita señales a larga distancia con muy pocas pérdidas de información.

A continuación se muestran las diversas conclusiones que se tuvieron tanto con la teoría como con la práctica de este proyecto:

- Por un lado con la teoría se pudo conocer, comprender y explicar que un sistema de instrumentación con medio de transmisión de corriente se puede constituir como un conjunto de objetos o dispositivos de medición y control que se encargan de controlar todas las variables que intervienen en un proceso y que pueden afectar a éste.
- Con la teoría también se pudo conocer que actualmente los sistemas de instrumentación son una herramienta indispensable para ingenieros,

científicos y técnicos que requieren de sistemas electrónicos de medida y estimulación de gran exactitud y precisión.

- Con respecto a la práctica se puede decir que el objetivo propuesto pudo lograrse, ya que se pudo desarrollar un sistema con muy poco margen de error, es casi preciso, fácil de manejar y con material de bajo costo.
- Los valores presentados en las tablas muestran, precisión, linealidad, rango, voltaje, corriente, etc. Lo cual quiere decir que a medida que **V_i** aumenta o disminuye entonces **V_o** aumenta o disminuye también, según sea el caso. Ya que de lo que se trata es de que el proceso sea lineal, es decir, la misma señal de entrada, debe ser la misma en la salida, sin sufrir cambios, como degradaciones o atenuación de la señal. Pero que sin embargo, pueden cambiar algunas de las características de este sistema, dependiendo en dónde y cómo sea utilizado.
- Otra conclusión a la que se llegó a través de la práctica, fue conocer que una de las ventajas que se pueden percibir al transmitir por corriente, es que se obtiene una señal muy similar a la de entrada, y, de modo contrario, al transmitir por voltaje, una pequeña variación en la resistencia del cableado, modifica significativamente la señal de salida.
- Se llegó a la conclusión de que un factor que puede impedir alcanzar los valores deseados es que, en los cálculos del diseño salen algunos de los valores de resistencias que no son muy comunes en el mercado, por lo cual se tienen que hacer algunos arreglos, de tal forma que se pueda acercarse al valor que se desea, además, las resistencias tienen una tolerancia de $\pm 5\%$.
- Se concluye también, que a través de los tres casos prácticos, usando diferentes tipos de señales, pudo comprobarse cómo es que se puede obtener el mismo valor tanto enviado como recibido.

5.2 Recomendaciones

A continuación se redactan algunas de las recomendaciones que se pueden dar de acuerdo a la experiencia teórica y práctica que se pudo obtener con la realización de este trabajo.

- Respecto a la teoría es importante dividir el tema en las categorías que lo componen, con el fin de facilitar la búsqueda de información.
- Buscar información en fuentes que sean confiables como por ejemplo, libros, revistas, artículos e Internet.
- Revisar y analizar los temas y subtemas varias veces con el fin de verificar la ortografía y sintaxis.
- Se sugiere contar con un cuaderno de notas en el que se registren todas las dudas que surjan al momento de elaborar el documento, para poder buscar toda la información que se necesite y que ayude a estructurar bien el tema.
- Con respecto a la práctica se puede decir, que es importante primero que nada tomar en cuenta el diseño del sistema que se quiere implementar, esto incluye también planear el circuito a utilizar, utilidad, tamaño, precio, utilización de materiales originales, hacer simulaciones de circuitos, armarlos en el protoboard, hacer pruebas de conexión y funcionamiento de cada etapa del circuito, y posteriormente hacer la prueba del funcionamiento del sistema completo, y si todo es correcto, hacer el circuito e implementarlo en el sistema que se quiere utilizar.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Briseño, Principios de las comunicaciones, Mérida: Venezuela Digital III, 2009.
- [2] F. Miyara, Conversores D/A y A/D, Argentina: Cuaderno de la Universidad Nacional de Rosario., 2004.
- [3] O. Johansen Bertoglio, «Introducción a la Teoría General de Sistemas,» S.F. [En línea]. Available: http://www.manuelugarte.org/modulos/teoria_sistemica/introduccion_a_la_teoría_general_de_sistemas_bertoglio.pdf. [Último acceso: 28 09 2017].
- [4] A. Pérez García, «Curso de Instrumentación,» S.F. [En línea]. Available: http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/alfonso_perez_garcia/instrumentacion/texto/INSTRU.pdf. [Último acceso: 28 09 2017].
- [5] H. Lugo, «Introducción a los sistemas de Instrumentación,» Mecatrónica UASLP, 30 Junio 2013. [En línea]. Available: <https://mecatronicauaslp.wordpress.com/2013/06/30/introduccion-a-los-sistemas-de-instrumentacion/>. [Último acceso: 29 10 2017].
- [6] Jiménez,Obed; Cantú,Vicente; Conde,Artro, Líneas de transmisión y distribución eléctrica, San Nicolás de los Garza Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2006.
- [7] De la Peña Valencia, Blanca Gisela; Díaz del Castillo Rodríguez, Felipe;, Elementos de Electrónica, Cuautitlán Izcalli: UNAM, 2009.
- [8] M. Á. Pérez García, Instrumentación Electrónica, España: Paraninfo, 2014.
- [9] A. «Sistemas Analogicos,» Wordpress, 24 03 2015. [En línea]. Available: <https://alejandrocbbba.wordpress.com/>. [Último acceso: 03 10 2017].
- [10] J. M. Drake Moyano, Introducción a los Sistemas de Instrumentación, Santander: Universidad de Cantabria, 2005.
- [11] J. C. Maraña, «Instrumentación y Control de Procesos,» 28 04 2005. [En línea]. Available:

- http://www.academia.edu/10047837/INSTRUMENTACION_Y_CONTROL_DE_PROCESOS_Autor_es_JUAN_CARLOS_MARA_Area_tecnica_Industria_y_Energia. [Último acceso: 08 10 2017].
- [12] R. Gillam Scott, Fundamentos del diseño, Argentina: Victor Leru S.A., 1970.
- [13] P. Lara Cortez, «Acondicionamiento de señales,» Blogspot, 22 11 2012. [En línea]. Available: <http://1538445.blogspot.mx/2012/11/22-acondicionamiento-de-senales.html>. [Último acceso: 25 10 17].
- [14] A. Cegarra , M. Fernández y M. Orden, «Amplificadores Operacionales,» SlideShare, 17 10 2011. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/AnaCegarra/exposicin-amplificadores-operacionales>. [Último acceso: 28 10 17].
- [15] A. García González, «Amplificadores operacionales y su uso en la electronica,» Panamahitek, 28 06 2013. [En línea]. Available: <http://panamahitek.com/amplificadores-operacionales-y-su-uso-en-la-electronica/>. [Último acceso: 29 10 17].
- [16] B. V. Belém, «Bosquejo de Metodología de la Investigación (Primera Parte),» Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, S/F 06 2012. [En línea]. Available: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/prepa3/bosquejo_met_inv1.pdf. [Último acceso: 15 11 2017].
- [17] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la Investigación, México: McGraw-Hill, 2006.
- [18] F. Arana, Método experimental para principiantes, México: Fondo de Cultura Económica, 2007.
- [19] N. E. Castro Martínez, J. De la Rosa Priego, Y. D. Iguanero Tajonar y V. Pérez Bravo, «Método Experimental y Científico,» SlideShare, 15 11 2015. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/VctorP/metodo-experimental-y-cientifico>. [Último acceso: 2017 11 16].