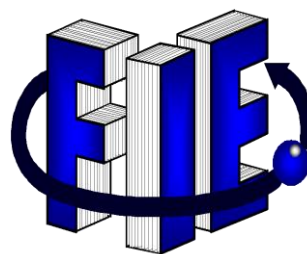




**UNIVERSIDAD
MICHOCANA DE
SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Tesis:

**SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN BASADO EN AMPLIFICADORES DE
AISLAMIENTO ÓPTICO**

Para obtener el Título de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta:

RODRIGO RAZO ANGEL

Asesor:

DR. EN INGENIERÍA ELÉCTRICA GILBERTO GONZÁLEZ AVALOS

Morelia, Michoacán

Diciembre 2021

Agradecimientos

A Dios

Por darme paciencia, sabiduría y entendimiento para superar las pruebas que me ha puesto, por permitirme vivir cada día dándome los regalos más hermosos que tengo.

A mis padres

A mi padre Baltazar por haberme dado la oportunidad de estudiar y trabajar a su lado, con sus compañeros y amigos, a mi madre Laura y mi tía Ma. Estela por apoyarme moral y emocionalmente en esta dura travesía, a mi hermano Diego por enseñarme las lecciones más honestas e importantes de mi vida.

A mi asesor

Doy gracias a mi asesor Gilberto por poner su confianza en mí, por tener paciencia, por ver en mí una oportunidad para superarme.

A mis amigos

Gracias a todos mis asesores, compañeros de trabajo y de escuela, así como mis amigos, a todos ellos que vieron en mí una pequeña semilla de oportunidad, mientras otros solo observaban arena y tierra.

Agradecimientos especiales

Le agradezco a Yesica Flores por su amistad en mis primeros semestres, a Ma. Guadalupe Andrade Marroquín, Ma. Concepción Razo Bucino y Mitzy Pichardo por su tiempo y por darme esperanzas para seguir adelante en toda mi carrera.

Al lector

Gracias a ti, estimado amigo o estimada amiga por dedicarle tiempo valioso a esta investigación, espero que encuentres en ella lo necesario para salir adelante.

Dedicatoria

A todos mis profesores, familiares y amigos los cuales hicieron posible el desarrollo de este significativo trabajo.

Resumen

Los sistemas de instrumentación han sido de suma importancia para comprender el comportamiento de la mayoría de los mecanismos, siendo una de las bases fundamentales de la automatización. En esta obra se abarca de forma completa el conocimiento de los diferentes tipos de sensores los cuales, por medio de una señal directa o indirecta, arrojarán información la cual permitida al desarrollador del tema tomar una decisión con ella. Para el desarrollo de un sistema de instrumentación basado en amplificadores de aislamiento óptico fue necesario elegir un par de sensores adecuados, esto con la finalidad de crear un sistema de sensado capaz de leer una señal, aislarla, protegerla sin importar la cantidad de señales externas (ruido eléctrico) y actuar en momentos de desfavorable. El Amplificador de aislamiento óptico a diferencia de cualquier optoacoplador permite trabajar en sistemas con alta contaminación, ya sea ruido eléctrico o polvo y humedad, el aislamiento óptico del amplificado en especial, permite tomar una señal cualquiera amplificándola (dentro de sus límites de operación lo cuales están mencionados en la hoja del fabricante apéndice C) y replicándola a la salida con un ruido menor al de la entrada.

Palabras clave

Amplificador, aislamiento óptico, sensor, conexión, corriente, voltaje, señal.

Abstract

Instrumentation systems have been of utmost importance to understand the behavior of most mechanisms, being one of the fundamental bases of automation. In this work, the knowledge of the different types of sensors is completely covered which, by means of a direct or indirect signal, will provide information which will allow the developer of the theme to make a decision with it. For the development of an instrumentation system based on optical isolation amplifiers, it was necessary to choose a pair of suitable sensors, this in order to create a sensing system capable of reading a signal, isolating it, protecting it regardless of the amount of external signals (electrical noise) and act in unfavorable moments. The Optical Isolation Amplifier, unlike any optocoupler, allows working in systems with high contamination, be it electrical noise or dust and humidity, the optical isolation of the amplifier in particular, allows taking any signal by amplifying it (within its operating limits which They are mentioned in the manufacturer's sheet appendix C) and replicating it at the output with less noise than at the input.

Keywords

Amplifier, optical isolation, sensor, connection, current, voltage, signal.

Índice

Agradecimientos	i
Dedicatoria.....	ii
Resumen	iii
Palabras clave	iii
Abstract	iv
Keywords.....	iv
Índice	v
Contenido de figuras.....	ix
Contenido de tablas	xi
Lista de símbolos y abreviaturas	xii
Capítulo 1 Presentación de la investigación	1
1.1 Introducción	1
1.2 La implementación del aislamiento en circuitos.....	1
1.3 Objetivo	2
1.4 Justificación	2
1.5 Metodología	2
1.6 Contenido de la tesis	3
Capítulo 2 Antecedentes de los Sistemas de Instrumentación	4
2.1 Introducción	4
2.2 Instrumentación	4
2.2.1 Exactitud y precisión.....	5
2.2.2 Sensibilidad	5
2.2.3 Resolución y error	5
2.2.4 Campo de medida.....	5

2.2.5 Métodos de medición	5
2.2.6 Método de deflexión y detección por cero	6
2.3 Medidores Analógicos de Corriente Alterna (CA) y Corriente Directa (CD).	6
2.4 Sensores y Transductores.....	6
2.5 Clasificación de los sensores	7
2.6 Tipos de sensores	8
2.6.1 Sensores resistivos de desplazamiento y posición	8
2.6.1.1 Galga extensiométrica	9
2.6.1.2 Sensor Shunt.....	9
2.6.1.3 Puente de Wheatstone.....	10
2.6.2 Sensor de posición electromagnética lineal	11
2.6.2.1 Sensor de efecto Hall.....	11
2.6.3 Sensores Capacitivos.....	11
2.6.3.1 Sensor de proximidad capacitiva.....	11
2.6.4 Sensores Ópticos	12
2.6.4.1 Foto-interruptores de barrera	12
2.6.4.2 Foto-interruptores reflectivos	12
2.6.4.3 Encoder óptico	13
2.7 Señales empleadas en la instrumentación	13
2.7.1 Señal sinusoidal.....	14
2.7.2 Señal cuadrada.....	14
2.7.3 Señal triangular	15
Capítulo 3 Amplificadores de Aislamiento Óptico	16
3.1 Introducción	16
3.2 Configuración de los Amplificadores Operacionales	16

3.2.1 Configuración Inversora.....	16
3.2.2 Configuración no Inversora.....	17
3.2.3 Configuración Diferencial.....	18
3.2.4 Configuración Norton	19
3.2.5 Configuración Seguidor de Voltaje.....	19
3.2.6 Amplificador de Instrumentación.....	20
3.3 Amplificador de aislamiento.....	21
3.3.1 Amplificador de Aislamiento Magnético	21
3.3.2 Amplificadores de Aislamiento Óptico.....	22
3.3.2.1 Barrera de aislamiento	24
3.3.2.2 Intensidad de Pérdida.....	25
3.3.3 Especificaciones Técnicas de los Amplificadores de Aislamiento Óptico	25
3.3.4 Nota general del fabricante	27
Capítulo 4 Diseño e Implementación de un Sistema de Instrumentación con Aislamiento Óptico	30
4.1 Introducción	30
4.2 Parametrización en Vcd	30
4.2.1 Circuito reductor de señal de voltaje de CD	30
4.2.2 Etapa de aislamiento.....	33
4.3 Parametrización en CA	37
4.3.1 Lectura del circuito de aislamiento	37
4.3.2 Lectura des sensor, temporización y toma de decisiones.....	38
4.4 Simulación del programa	38
4.5 Prueba de aislamiento	40
Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones.....	42

5.1 Conclusiones	42
5.2 Recomendaciones	43
Bibliografía	44
Apéndice	46
Código del Arduino	46
Diseño en PCB	50
Hoja de datos del HCPL7840	51
HOJA DE DATOS DEL ZMCT103	56

Contenido de figuras

Figura 2. 1.- Medidor digital.	6
Figura 2. 2.- Medidores analógicos.	6
Figura 2. 3.- Reóstato.	9
Figura 2. 4.- Galga extensiométrica.	9
Figura 2. 5.- Monitor de corriente Shunt.	10
Figura 2. 6.- Puente de Wheatstone.	10
Figura 2. 7.- Toroide con sensor de efecto Hall.	11
Figura 2. 8.- Ilustración de funcionamiento del sensor de efecto Hall.	11
Figura 2. 9.- Foto interruptor de barrera.	12
Figura 2. 10.- Modelo interno del foto interruptor de barrera	12
Figura 2. 11.- Encapsulado SFH9240a.	12
Figura 2. 12.- Representación de la foto interruptor reflectivo.	12
Figura 2. 13.- Encoder incremental.	13
Figura 2. 14.- Encoder absoluto.	13
Figura 2. 15.- Señal sinusoidal.	14
Figura 2. 16.- Señal Cuadrada.	14
Figura 2. 17.- Señal rectangular.	15
Figura 3. 1.- Amplificador operacional en configuración inversor.	17
Figura 3. 2.- Amplificador operacional en configuración no inversor.	17
Figura 3. 3.- Amplificador operacional en configuración diferencial.	18
Figura 3. 4.- Amplificador operacional en configuración Norton.	19
Figura 3. 5.- Amplificador operacional como seguidor de voltaje.	20
Figura 3. 6.- Amplificador de instrumentación	21
Figura 3. 7.- Amplificador de aislamiento magnético.	22

Figura 3. 8.- Amplificador de aislamiento óptico.....	24
Figura 3. 9.- Barrera de aislamiento del circuito equivalente del amplificador óptico de aislamiento (AAO).	25
Figura 3. 10.- Arquitectura del Amplificador de Aislamiento Óptico (AAO).	26
Figura 4. 1.- Gráfica del convertidor que se conecta al amplificador.	31
Figura 4. 2.- Etapa de pre amplificamieto de señal de CD reducida	33
Figura 4. 3.- Etapa de aislamiento.	34
Figura 4. 4.- Etapa de amplificación.	34
Figura 4. 5.- Grafica de salida del circuito de instrumentación completo.....	35
Figura 4. 6.- Circuito de instrumentación de CD con puente de Wheatstone.	36
Figura 4. 7.- Circuito completo del AAO.....	36
Figura 4. 8.- Circuito final del AAO.	36
Figura 4. 9.- Grafica del sensor de corriente tipo dona.	37
Figura 4. 10.- Lógica del programa.	38
Figura 4. 11.- Circuito de sobre corriente controlada.....	39
Figura 4. 12.- Simulación del Arduino.	39
Figura 4. 13.- Pruebas de sensado de corriente.	40
Figura 4. 14.- Datos arrojados del sensado de corriente.....	40
Figura 4. 15.- Prueba de aislamiento	41

Contenido de tablas

Tabla 4. 1.- Voltajes obtenidos de entrada contra salida.	35
Tabla 4. 2.- Medición del sensor de corriente tipo dona	37

Lista de símbolos y abreviaturas

Δ	Incremento
μ	Micro
A	Amperes
AO	Amplificador operacional
AAO	Amplificador de aislamiento óptico
A_v	Ganancia
CA	Corriente alterna
CC	Corto circuito
CD	Corriente directa
GMR	Sensor magnético-resistivo gigante
Hz	Hertz
I	Corriente eléctrica
K	Kilo
LED	Diodo emisor de luz
m	Mili
m	Pendiente
n	Nano
R	Resistencia
R_{com}	Resistencia de compensación
R_f	Resistencia de lazo cerrado
R_i, R_1	Resistencia de entrada
R_{os}	Resistencia de entrada reductora
s	Segundos
t	Tiempo
T	Transformador
V	Voltaje
$V_{\pm}$	Voltaje de entrada positivo o negativo

V_1	Voltaje de entrada 1
V_2	Voltaje de entrada 2
V_H	Voltaje Hall
V_o	Voltaje de salida
V_{pp}	Voltaje de pico a pico
Z	Impedancia
β	Campo magnético
Ω	Ohms

Capítulo 1 Presentación de la investigación

1.1 Introducción

En el presente trabajo se analiza y desarrolla un circuito de instrumentación basado en el amplificador de aislamiento óptico (AAO), conoceremos sus configuraciones y sus límites de operación. Previamente, para comprender el funcionamiento del AAO es necesario tener un conocimiento previo de los temas de sensores y transductores, los cuales nos permitirán leer una señal para poder comprenderla y tomar una decisión basada en dicha lectura, una vez abordado y comprendido el tema de sensores y transductores, se estudiara una señal sensada, la cual se tendrá que amplificar o reducir dicha señal de entrada hacia el AAO dependiendo de las condiciones de entrada del amplificador ya mencionado, para cumplir este objetivo se tendrá que estudiar las configuraciones del amplificador operacional (AO). Una vez reunidos los conocimientos previos y estudiado los parámetros del AAO se desarrollará un sistema de instrumentación con estos tres elementos, los cuales tendrán la tarea de sensor, amplificar, aislar y actuar ante algún evento determinado.

1.2 La implementación del aislamiento en circuitos

Muchos sistemas digitales basados en inductores o capacitores son utilizados como elementos para toma de decisiones, al realizar funciones de control tales que actúen al liberar o conectar a una etapa de potencia como en la conexión de motores eléctricos, apagado o encendido de sistemas de iluminación, cambio de cargas en procesos industriales, etc. A pesar de que dichos sistemas digitales son buenos en la transferencia de información tienen un pequeño inconveniente, son susceptibles a altas frecuencias o a la estática externa.

La razón fundamental para llevar a cabo acoplamiento óptico y aislamiento eléctrico es por protección de la etapa o sistema digital, ya que, si ocurre un corto en la etapa de potencia, o cualquier otro tipo de anomalía eléctrica, el acoplamiento óptico protege toda la parte digital de control, aislando la parte de potencia.

1.3 Objetivo

- Diseñar e implementar un sistema de instrumentación basado en amplificadores de aislamiento óptico.
- Investigar y parametrizar el comportamiento del amplificador de aislamiento óptico seleccionado, los sensores para implementar un circuito de aislamiento.
- Desarrollar un circuito de control con el amplificador de aislamiento óptico para caso de estudio a futuro.

1.4 Justificación

El acoplamiento óptico es utilizado cuando las señales eléctricas deben transferirse de una parte de un sistema a otra, pero la conexión eléctrica directa es indeseable o difícil. Pueden hallarse ejemplos de aplicaciones para el opto acoplamiento en la instrumentación como para plantas generadoras de energía eléctrica o el sensado de bancos de baterías en el transporte de voltaje de corriente directa. Los transductores producen señales que representan magnitudes físicas, como temperatura, presión o velocidad de flujo. Debido a las grandes corrientes que fluyen en el transporte de energía eléctrica, puede existir una importante diferencia de tensión entre puntos de tierra situados en distintas ubicaciones. Por tanto, a menudo resulta deseable evitar la conexión eléctrica directa entre partes distantes del sistema de instrumentación.

Por razones de seguridad, es importante evitar la conexión eléctrica directa entre los usuarios y el sistema de energía eléctrica. Un equipamiento correctamente diseñado que utilice acoplamiento óptico puede ayudar a proteger al usuario y al equipo de control y medición [1].

1.5 Metodología

A continuación, se describe la metodología para desarrollar el prototipo y el orden con el que se implementaron cada una de las etapas del amplificador de aislamiento:

1. Entrada, en ella se implementó un sensor, en nuestro caso un puente de Wheatstone para tener una respuesta ante un disturbio de una señal a sensar.
2. Acondicionamiento, se implementó un circuito reductor de señal de voltaje de corriente directa para introducirla al AAO.
3. Aislamiento, dadas las condiciones de operación del AAO señaladas en la hoja de especificaciones del fabricante, se introdujo una señal pequeña a la entrada, la cual se repetirá a la salida sin alteraciones por algún sistema externo.
4. Amplificación, una vez aislada la señal se amplificará para estudiar su comportamiento.
5. Aplicación. En ella se tomará la señal amplificada y se conectará a un motor para observar su comportamiento ante un cambio de temperatura.

1.6 Contenido de la tesis

En el capítulo 1 se da una breve introducción al contenido de este trabajo, se menciona la forma en la cual se trabajará.

El capítulo 2 se da una explicación de forma sencilla y detallada la operación de algunos dispositivos de instrumentación tales como son los sensores y los transductores.

En el capítulo 3 abordamos el tema de los AO, las fórmulas y las configuraciones que los rigen, mencionaremos el funcionamiento de los diferentes tipos de amplificadores de aislamiento y sus características físicas de funcionamiento.

En el capítulo 4 se desarrollará un circuito de instrumentación el cual estará compuesto de un sensor, un AO y un AAO el cual sensará en cambio de temperatura en una fotorresistencia y actuará un motor a la salida con respecto a ese cambio.

En el capítulo 5 se presentarán los resultados y observaciones arrojados del tema desarrollado.

Capítulo 2 Antecedentes de los Sistemas de Instrumentación

2.1 Introducción

En los procesos de medición generalmente requieren el uso de un instrumento como medio físico para determinar el valor de alguna variable. Los instrumentos de medición han constituido una extensión de las facultades humanas, las cuales permiten determinar el valor de una cantidad desconocida. Por lo tanto, un instrumento se puede definir como un dispositivo que determina el valor o magnitud de una cantidad o variable.

En los inicios de la era industrial, los operarios llevaban a cabo un control manual de las variables utilizando instrumentos simples, termómetros, válvulas manuales, autos transformadores, etc. Sin embargo, con la complejidad de los procesos y el avance de la tecnología la industria ha ido exigiendo una automatización progresiva por medio de instrumentos de automatización y control, liberando al operador de su función de actuador físico en la planta y al mismo tiempo, le ha permitido desempeñar la función de supervisión y vigilancia en la sala de procesos para garantizar un mejor control y desempeño en la industria [2] [3].

2.2 Instrumentación

Un instrumento es un dispositivo directa o indirectamente usado para medir y/o controlar una variable. El término incluye, elementos primarios, elementos finales de control, dispositivos de cómputo y dispositivos eléctricos tales como anunciadores, interruptores y botones, por lo tanto, la instrumentación es el conjunto de dispositivos analógicos y digitales capaces de medir, sensar y controlar diferentes tipos de señales por medio de diferentes escalas.

2.2.1 Exactitud y precisión

Exactitud se refiere al grado de aproximación o conformidad al valor real de la cantidad medida, mientras que el término precisión se refiere al grado de concordancias dentro de un grupo de mediciones o instrumentos.

2.2.2 Sensibilidad

Se refiere a la relación de la señal de salida o respuesta del instrumento respecto al cambio de la entrada o variable medida.

2.2.3 Resolución y error

Se refiere al cambio más pequeño del valor medido el cual responde al instrumento, el error es la desviación a partir del valor real de la variable medida.

2.2.4 Campo de medida

El campo de medida es el espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida, de recepción o de transmisión del instrumento. Viene expresado estableciendo los dos valores extremos.

2.2.5 Métodos de medición

Las mediciones eléctricas se pueden realizar utilizando el tipo de medición directa o indirecta. En la medición directa se utiliza el instrumento de medida directamente para obtener el resultado, ejemplo medida de voltaje obtenido mediante un voltímetro. En la medición indirecta no podemos obtener el resultado de la lectura del instrumento si no basarnos de cantidades obtenidas para relacionarlas y obtener el resultado utilizando cálculos, ejemplo la resistencia es la relación entre el voltaje y la corriente al aplicar la ley de Ohm. Básicamente, tenemos dos métodos de medida el de deflexión y de detección de cero.

2.2.6 Método de deflexión y detección por cero

En este método la deflexión que proporciona la aguja del instrumento da directamente la medida, en este método la indicación nula o de cero del instrumento lleva a determinar la incógnita que se busca a partir de otras condiciones conocidas para que esta esté en equilibrio.

2.3 Medidores Analógicos de Corriente Alterna (CA) y Corriente Directa (CD).

La medición de voltajes se efectúa con dispositivos tan variados como el voltímetro electromagnético, voltímetro digital, osciloscopios y potenciómetros. El equipo para medir corriente se denomina amperímetro, algunos amperímetros funcionan realmente sensando corriente, mientras que otros la determinan indirectamente a partir de una variable asociada con el voltaje, el campo magnético o el calor.

Los medidores que determinan el voltaje (V) o la corriente (I) se pueden agrupar en dos clases generales; medidores analógicos y medidores digitales. Aquellos que emplean mecanismos electromagnéticos para mostrar la cantidad que se está midiendo en una escala continua permanecen en la clase analógica. Mientras que los dispositivos que utilizan electrónica analógica y digital para sensor V o I pertenecen los medidores digitales tal como se muestran la figura 2.1 y figura 2.2.



Figura 2. 1.- Medidor digital.



Figura 2. 2.- Medidores analógicos.

2.4 Sensores y Transductores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar diferentes tipos de materiales, con el objetivo de mandar una señal y permitir que continúe un proceso, o bien detectar un cambio;

dependiendo del caso que éste sea. Es un dispositivo que, a partir de la energía del medio, proporciona una señal de salida que es función de la magnitud que se pretende medir. De igual forma, existen otros dispositivos llamados transductores, que son elementos que cambian señales, para la mejor medición de variables en un determinado fenómeno.

Un transductor es el dispositivo que transforma una magnitud física como son las magnitudes mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas, etc. en otra magnitud (generalmente eléctrica), normalmente eléctrica. Un sensor es un transductor que se utiliza para medir una variable física de interés. Algunos de los sensores y transductores utilizados con más frecuencia son los calibradores de tensión (utilizados para medir la fuerza y la presión), los termopares, los velocímetros [4].

2.5 Clasificación de los sensores

Los sensores pueden clasificarse en:

- Activos; son dispositivos que generan energía eléctrica por conversión de energía procedente del sistema sobre el que mide. Los transductores activos no necesitan fuente de alimentación para poder operar.
- Pasivos; son aquellos, en los que no se produce conversión de energía. Algún parámetro del transductor es función de la magnitud que se mide, y las variaciones de este parámetro es utilizado para modular la energía eléctrica procedente de una fuente que en este caso se necesita,

El sensado de una señal de voltaje o de corriente nos permite observar, de una manera indirecta, cambios que puedan alterar el orden o estabilidad de un sistema y ser capaz de evitar algún problema a futuro. Desde hace algunos años han existido diferentes técnicas para el monitoreo corriente las cuales son:

- Forma directa o invasiva; para realizar este tipo de medición es necesario abrir el circuito eléctrico e insertar el sensor esto con la finalidad de observar cambios en la magnitud de corriente demandada por la carga.

- Forma indirecta o no invasiva; en la presente configuración el monitor de corriente es insertado en el circuito eléctrico sin interrumpir el flujo de corriente que va hacia la carga.

Así mismo, específicamente existen dispositivos como son los sensores shunt, sensores de efecto Hall y sensores inductivos, con características diferentes, pero son capaces de realizar la misma función. A continuación, se mencionará a las características de cada uno de ellos y cuál de ellos es la mejor opción para el desarrollo de este tema.

2.6 Tipos de sensores

Un sensor es un dispositivo diseñado para recibir una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, tal que son capaces de manipular y cuantificar magnitudes físicas, normalmente estos dispositivos son realizados con componentes pasivos.

A continuación, se describen los sensores y transductores más comunes.

2.6.1 Sensores resistivos de desplazamiento y posición

Los sensores de desplazamiento resistivo miden la magnitud que se desplaza un objeto, mientras que los sensores de posición determinan la posición de un objeto en relación a un punto de referencia, ambos sensores se pueden clasificar en dos tipos básicos: sensores de contacto, en los cuales, el objeto que se mide está en contacto mecánico con el sensor, y sensores sin contactos, en los que no hay contacto físico entre el objeto y el sensor.

Por ejemplo, los potenciómetros son elementos resistivos que tienen un contacto deslizable que pueden desplazarse a lo largo de dicho elemento. Este se puede utilizar tanto en desplazamientos lineales como rotacionales, dicho desplazamiento se convierte en una diferencia de potencial en la figura 2.3 se muestra el potenciómetro de forma gráfica en la siguiente página. Un efecto que debe de tomar en cuenta es la carga conectada a la salida del potenciómetro es la diferencia de potencial de la carga, la cual es menor a la diferencia de potencial que alimenta la sensor [5].

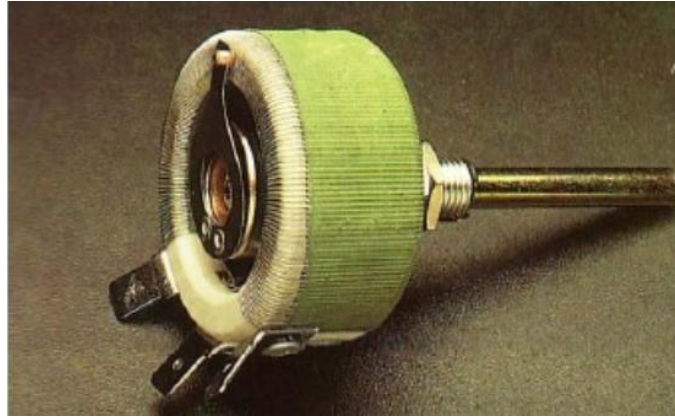


Figura 2. 3.- Reóstato.

2.6.1.1 Galga extensiométrica

Consiste de un hilo resistivo sometido a una tensión, se basa en la variación de longitud y diámetro de este hilo, es decir, en la deformación de la galga, producida por la presión y por tanto se mide el cambio de su resistencia. Al observar la figura 2.4 podemos apreciar la forma de la galga extensiométrica.



Figura 2. 4.- Galga extensiométrica.

2.6.1.2 Sensor Shunt

Un sensor shunt tal como se muestra en la figura 2.5 en la siguiente página, se puede definir como un arreglo de resistencias en serie con una carga eléctrica (inductiva, resistiva o capacitiva), por el cual fluirá una corriente y a su vez existirá una caída de tensión que dependerá del tamaño de la resistencia.

Es de suma importancia tener una resistencia Shunt de bajo valor a la entrada, esto con el propósito de minimizar la caída de tensión en la resistencia y la disipación de potencia, tener un valor relativamente bajo de inductancia en la carga, esto con la finalidad de mantener una mejor precisión en el circuito.

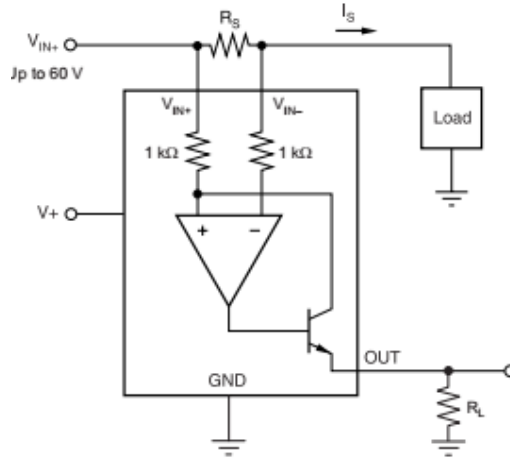


Figura 2. 5.- Monitor de corriente Shunt.

2.6.1.3 Puente de Wheatstone

Estructura del puente de Wheatstone es la que se puede observar en la figura 2.6, está formado por cuatro resistencias, una de las cuales es la que se pretende medir, una fuente de tensión continua y un galvanómetro.

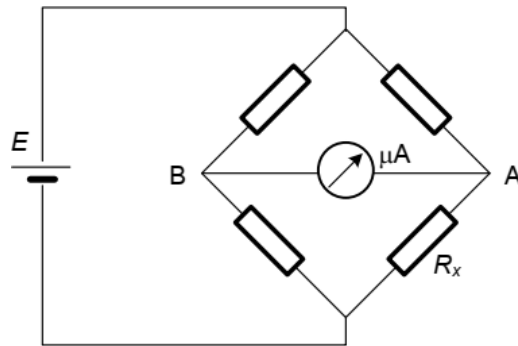


Figura 2. 6.- Puente de Wheatstone.

Las medidas a dos (medio puente) y cuatro (puente completo) hilos permiten obtener lecturas con alcances muy elevados, de hasta varios órdenes de magnitud. La técnica de cuatro hilos es de aplicación general a casos en los que se deba eliminar el efecto de los cables y de las conexiones, pero en muchos de los sensores resistivos el problema no está ahí sino en que la variable produce un efecto limitado sobre el valor de la resistencia, de modo que las variaciones que se obtienen para todo el campo de medida resultan pequeñas.

2.6.2 Sensor de posición electromagnética lineal

Un interruptor de límite de carrera, es un sensor de posición electromecánico que consiste de un cuerpo y una cabeza de operación. El cuerpo del inductor incluye contactos eléctricos para energizar o para des energizar un circuito. La cabeza de operación incorpora un cierto tipo de brazo, palanca o pulsador, designado como actuador. El interruptor de límite de carrera estándar es un dispositivo mecánico que utiliza el contacto físico para detectar la presencia de un objeto. Cuando el objeto entra en contacto con el actuador, el actuador gira a la posición de funcionamiento.

2.6.2.1 Sensor de efecto Hall

Si una corriente fluye en un conductor (o semiconductor) y se le aplica un campo magnético perpendicular a dicha corriente, entonces la combinación de corriente y campo magnético genera un voltaje perpendicular a ambos. Este fenómeno se denomina Efecto Hall. V_H (Voltaje Hall) es una función de la densidad de I (corriente), β (campo magnético), y la densidad de carga y movilidad portadora del conductor. A continuación, se muestra en la figura 2.7 y figura 2.8.

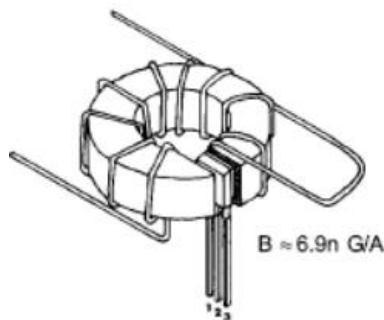


Figura 2. 7.- Toroide con sensor de efecto Hall.

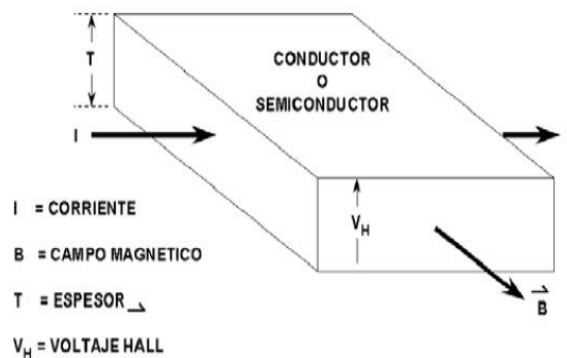


Figura 2. 8.- Ilustración de funcionamiento del sensor de efecto Hall.

2.6.3 Sensores Capacitivos

2.6.3.1 Sensor de proximidad capacitiva

La función del detector capacitivo consiste en señalar un cambio de estado, basado en la variación del estímulo de un campo eléctrico. Los sensores capacitivos detectan objetos

metálicos, o no metálicos, midiendo el cambio en la capacitancia, la cual depende de la constante dieléctrica del material a detectar, su masa, tamaño, y distancia hasta la superficie sensible del detector.

2.6.4 Sensores Ópticos

2.6.4.1 Foto-interruptores de barrera

Están formados por un emisor de infrarrojos y un fototransistor separados por una abertura donde se insertará un elemento mecánico que producirá un corte del haz. La salida será 0 o 1 los cuales son mostrados en la figura 2.9 y la figura 2.10.



Figura 2. 9.- Foto interruptor de barrera.

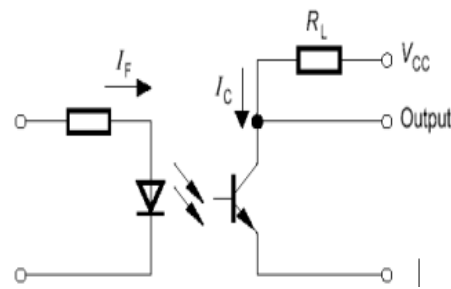


Figura 2. 10.- Modelo interno del foto interruptor de barrera

2.6.4.2 Foto-interruptores reflectivos

Están formados por un emisor y un receptor de infrarrojos situados en el mismo plano de superficie tal como se muestra en la figura 2.11 y en la figura 2.12, que por reflexión permiten detectar dos tipos de colores, blanco y negro normalmente, sobre un elemento mecánico.

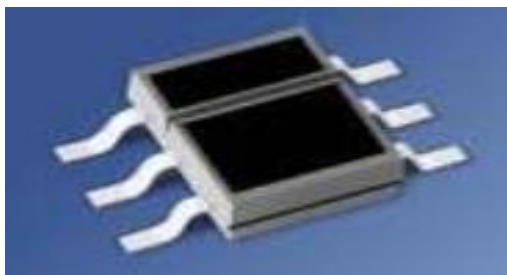


Figura 2. 11.- Encapsulado SFH9240a.

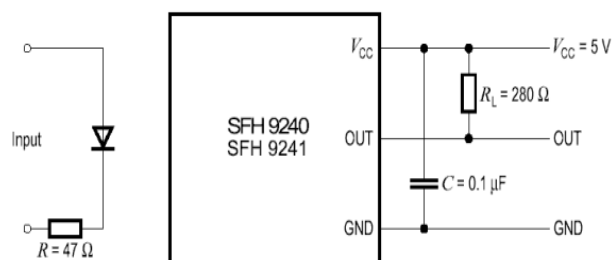


Figura 2. 12.- Representación de la foto interruptor reflectivo.

2.6.4.3 Encoder óptico

Con la foto-interruptor y los reflectivos se pueden montar los encoders ópticos, formados por un disco que tiene dibujados segmentos para ser detectados por los sensores. Existen dos tipos de encoders, los encoders incrementales y encoders absolutos.

- **Encoder Incrementales:** En la figura 2.13 se muestra su comportamiento, el encoder permiten que un sensor óptico detecte el número de segmentos que dispone el disco y otro sensor detecte la posición cero de dicho disco.
- **Encoder Absolutos:** Permiten conocer la posición exacta en cada momento sin tener que dar una vuelta entera para detectar el punto cero del disco. La diferencia es que se necesitan varios sensores ópticos y el disco debe de tener una codificación tipo Manchester, tal como se muestra en la figura 2.14.

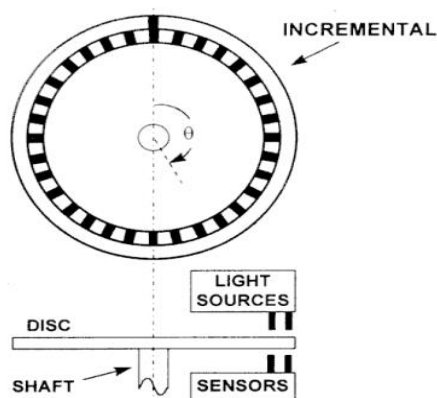


Figura 2. 13.- Encoder incremental.

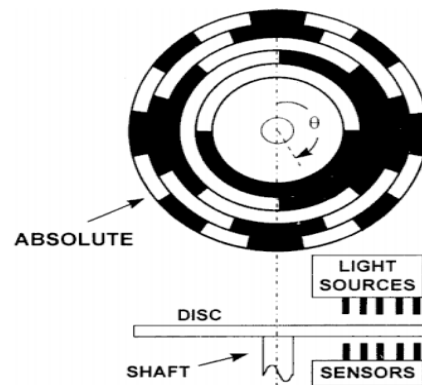


Figura 2. 14.- Encoder absoluto.

2.7 Señales empleadas en la instrumentación

Una señal es aquella magnitud física cuyo valor tiene una variación en el tiempo (t). Las señales empleadas en aplicaciones electrónicas de instrumentación más usuales son; señales sinusoidales, señales cuadradas y señal triangular, a continuación se mencionaran más a detalle las señales más comunes utilizadas en la instrumentación [6].

2.7.1 Señal sinusoidal

El valor del voltaje de una señal senoide no se mantiene constante en el tiempo, consta de una magnitud, una amplitud y una frecuencia, además el flujo de electrones se mueve por el circuito eléctrico en un sentido y en otro ya que las terminales de alimentación en la que se está midiendo la señal cambian periódicamente de polaridad, a continuación, se puede observar en la figura 2.15 la forma de onda de la señal sinusoidal.

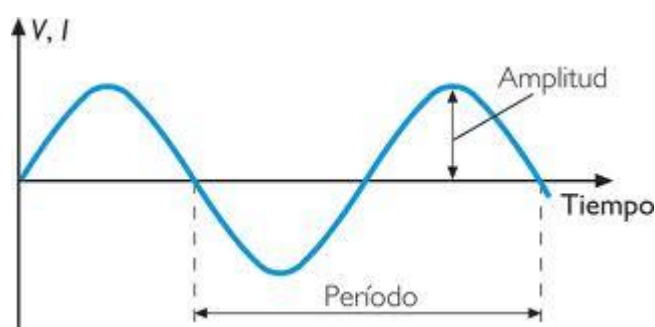


Figura 2. 15.- Señal sinusoidal.

2.7.2 Señal cuadrada

Este tipo de señal son ondas que pasan de un estado a otro de tensión a intervalos regulares y tiempos muy reducidos, varían en forma discreta en el tiempo siendo muy importantes en la transferencia de datos en señales digitales tal como se observa en la figura 2.16 [7].

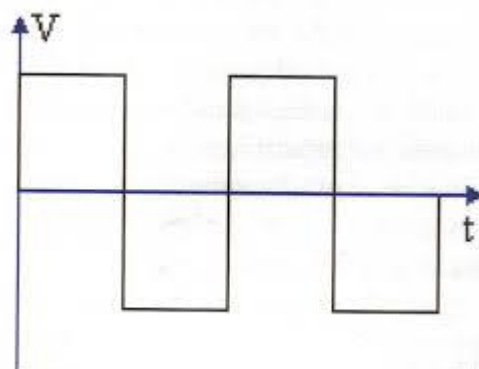


Figura 2. 16.- Señal Cuadrada.

2.7.3 Señal triangular

La onda triangular mostrada en la figura 2.17 es el resultado de los circuitos diseñados para controlar voltajes de forma lineal, por ejemplo, el barrido horizontal de un osciloscopio analógico o el barrido de trama de un televisor.

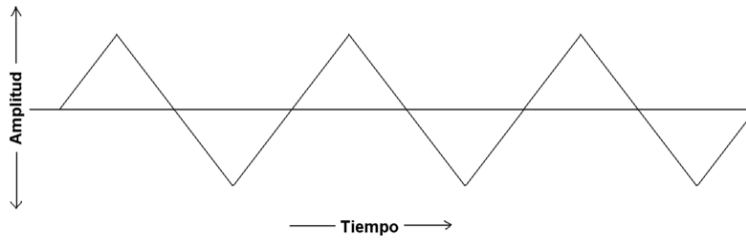


Figura 2. 17.- Señal rectangular.

Capítulo 3 Amplificadores de Aislamiento Óptico

3.1 Introducción

El AO es un dispositivo electrónico que amplifica la magnitud de voltaje y cambia su polaridad dependiendo de la entrada con la cual sea alimentado. La diferencia del AO de otros amplificadores de voltaje es su alta impedancia de entrada y su baja impedancia de salida, además el AO puede configurarse para diversas conexiones tales como son la amplificación, la sustracción, la adición, la diferenciación y la integración. A continuación, se muestran los circuitos más usuales realizados con el AO.

3.2 Configuración de los Amplificadores Operacionales

Los AO constan de múltiples configuraciones para tareas específicas, a continuación, describiremos los circuitos esenciales que nos apoyaran en el desarrollo de esta investigación.

3.2.1 Configuración Inversora

En la figura 3.1 se muestra la conexión del circuito del AO con configuración no inversora (-). Su salida de voltaje V_o se obtiene al aplicar una señal de voltaje de entrada (V_i) a través de una resistencia (R_1) en la entrada negativa, la salida del AO se conecta a la entrada negativa por medio de una resistencia de lazo cerrado (R_f). La entrada positiva se conecta a tierra. Para obtener la ganancia fija A_v se establece una relación de la resistencia de entrada (R_1), dividida por la resistencia del lazo cerrado (R_f) y multiplicada por el voltaje de entrada (V_i) tal como se muestra en la ecuación 3.1. En la práctica se recomienda que R_f sea $>$ a R_1 esto con el motivo de amplificar la ganancia a la salida.

$$V_o = -A_v(V_i) \quad (3.1)$$

Donde:

$$A_v = \frac{R_f}{R_1} \quad (3.2)$$

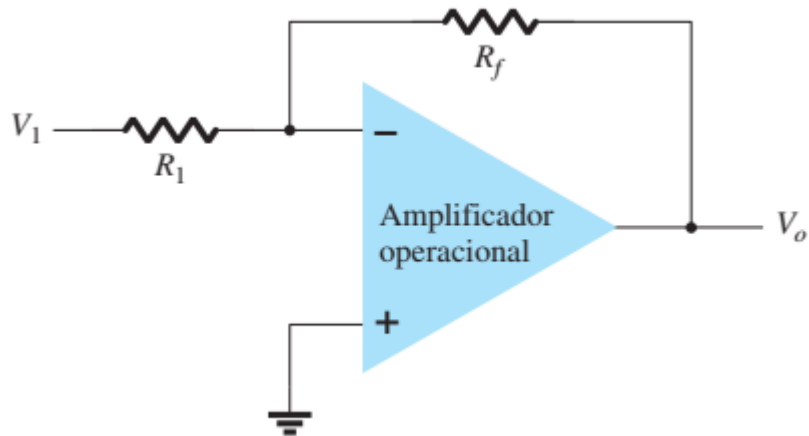


Figura 3. 1.- Amplificador operacional en configuración inversor.

3.2.2 Configuración no Inversora

En la figura 3.2 se muestra la conexión de un AO en configuración no inversor. En esta conexión se aplica una señal de voltaje V_1 a la entrada no inversora (+), la salida de voltaje V_o está conectada por medio de R_f a la entrada inversora (-) del circuito, R_1 se conecta a la entrada negativa y se aterriza a tierra, por lo tanto, se asemejaría a un divisor de voltaje, la ecuación de este circuito queda como:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_1 \quad (3.3)$$

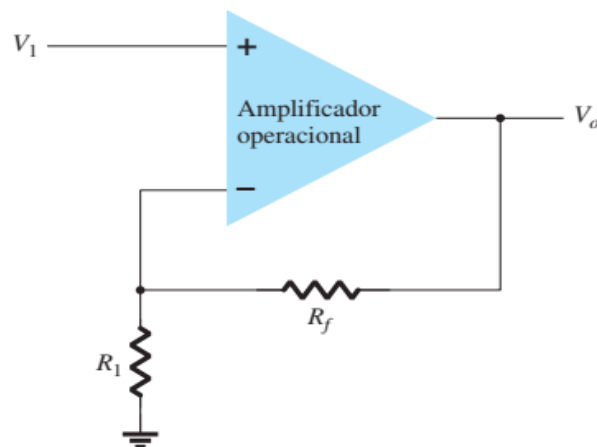


Figura 3. 2.- Amplificador operacional en configuración no inversor.

3.2.3 Configuración Diferencial

La finalidad de este circuito es proporcionar a la salida V_o la diferencia de voltaje que hay entre la entrada inversora (-) V_1 y la no inversora (+) V_2 , para hacer un análisis más fácil se hacen iguales las resistencias de entrada a $R_1 = R_2$ y las resistencias que van tanto a la retroalimentación como la que va a la terminal no inversora que va a tierra $R_4 = R_3$ tal como se muestra en la figura 3.3.

Siempre y cuando se cumpla que $R_1 = R_2$ y $R_4 = R_3$:

$$V_o = \left[\frac{R_4}{R_2} \right] (V_1 - V_2) \quad (3.4)$$

De lo contrario, si $R_1 \neq R_2$ y $R_4 \neq R_3$ entonces se cumple que:

$$V_o = \left[\frac{R_3}{R_1 + R_3} \frac{R_2 + R_4}{R_2} \right] V_1 - \frac{R_4}{R_2} V_2 \quad (3.5)$$

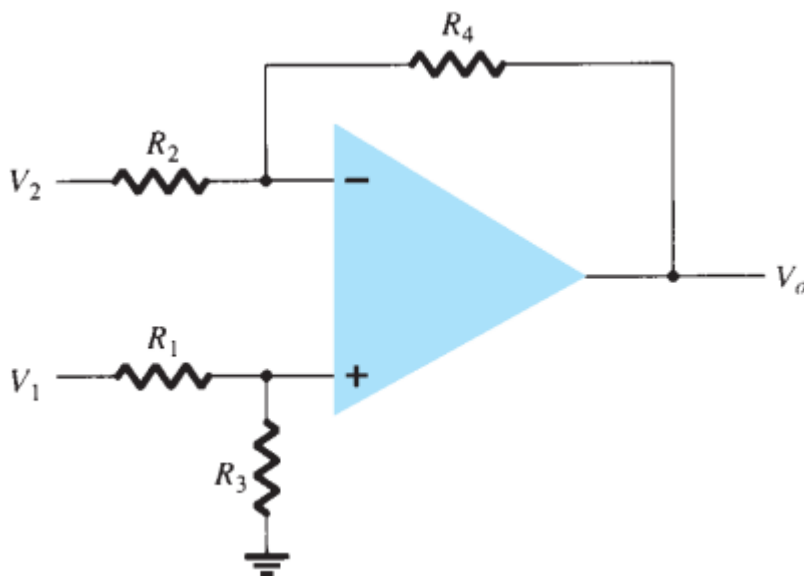


Figura 3. 3.- Amplificador operacional en configuración diferencial.

3.2.4 Configuración Norton

La configuración Norton del AO tal mostrada en la figura 3.4 es similar a la configuración diferencial, a este circuito en específico se alimenta de un V_{cd} en la R_3 con la finalidad de tener un punto de referencia diferente a tierra, con esto se podrá observar la diferencia de potencial de V_{ca} que hay entre la terminal inversora (-) y no inversora (+), cabe de aclarar que este tipo de configuración solo se aplica en AO que carecen de alimentación negativa [8] [9].

Siempre y cuando se cumpla que $R_1 = R_2$ y $R_4 = R_3$:

$$V_o = \left[\frac{R_4}{R_2} \right] (V_1 - V_2) + V_{cd} \quad (3.6)$$

De lo contrario, si $R_1 \neq R_2$ y $R_4 \neq R_3$ entonces se cumple que:

$$V_o = \left(\left[\frac{R_3}{R_1 + R_3} \frac{R_2 + R_4}{R_2} \right] V_1 - \frac{R_4}{R_2} V_2 \right) + V_{cd} \quad (3.7)$$

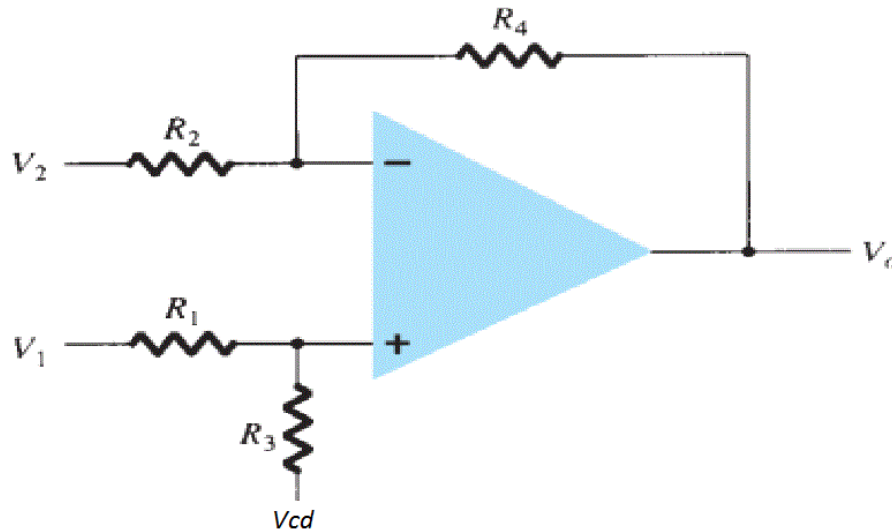


Figura 3. 4.- Amplificador operacional en configuración Norton.

3.2.5 Configuración Seguidor de Voltaje

Un circuito seguidor de voltaje proporciona los medios para acoplar una señal de entrada de una carga por medio de una etapa con ganancia de voltaje unitaria, sin inversión de fase ni de polaridad y que actúa como un circuito ideal con una muy alta impedancia de entrada y

una baja impedancia de salida. La figura 3.5 muestra un amplificador operacional conectado para que funcione como amplificador de acoplamiento o seguidor de voltaje.

$$V_1 = V_o \quad (3.8)$$

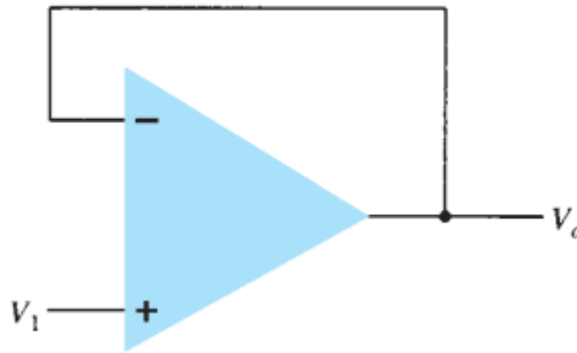


Figura 3. 5.- Amplificador operacional como seguidor de voltaje.

3.2.6 Amplificador de Instrumentación

Un amplificador de instrumentación es un dispositivo de precisión de ganancia de voltaje diferencial el cual se optimiza para funcionar en un medio hostil para mediciones de precisión. En el mundo real, como todos los instrumentos de medición es afectado por factores físicos como son; la temperatura, es ruido eléctrico, caídas de voltaje debidas a la resistencia de algún conductor o cuerpo el cual afecte su alimentación.

El amplificador de instrumentación se encuentra dentro de la subclase de los amplificadores de aislamiento. En etapas de preamplificación, los amplificadores de instrumentación son capaces de extraer señales diferenciales pequeñas de voltajes grandes en modo común. En los sistemas analógico-digitales, las amplitudes de su señal de salida están adaptadas para satisfacer los requisitos necesarios de la señal de entrada de los convertidores receptores analógicos-digitales.

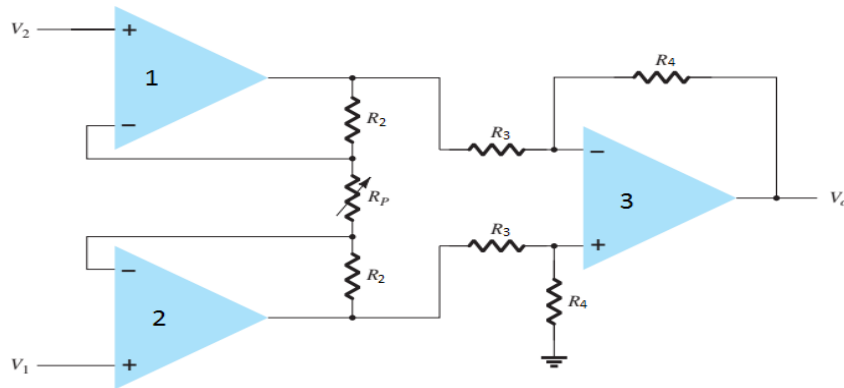


Figura 3. 6.- Amplificador de instrumentación

Los AO 1 y 2 se conectan como seguidores de voltaje tal como se observa en la figura 3.6, estos dos seguidores de voltaje sirven para establecer la altísima independencia de entrada que presenta este tipo de amplificador de instrumentación a las señales de entrada. Los dos seguidores activan al AO 3, el cual está conectado en la configuración de amplificador diferencial para proporcionar una ganancia y a su vez el rechazo de voltaje en modo común, el voltaje de salida de este amplificador es:

$$V_o = \left(\frac{R_4}{R_3}\right) \left(1 + \frac{2R_2}{R_p}\right) (V_1 - V_2) \quad (3.9)$$

3.3 Amplificador de aislamiento

3.3.1 Amplificador de Aislamiento Magnético

El aislamiento es provisto mediante la separación de las trayectorias de tierra, fuerza (voltajes de alimentación a circuitos) y señal mediante los transformadores T_1 y T_2 tal como se muestra en la figura 3.7. Estos transformadores cuentan con un material en su núcleo que es muy poco eficiente a 60 Hz pero que opera bien en el rango de 20 a 250 kHz y esta característica les permite pasar fácilmente la señal portadora y rechaza cualquier energía de 60 Hz que pudiera estar presente. Casi todos los modelos de amplificadores de aislamiento de este tipo utilizan una portadora con una frecuencia en el rango de 50 a 60 kHz, aun cuando hay algunos que operan a cualquier frecuencia en el rango de 20 a 250 kHz.

El acoplamiento del oscilador de señal de la portadora a la etapa aislada se hace a través del transformador (T_1). Parte de la energía en el secundario de T_1 va a la etapa de modulación y el resto es rectificado y filtrado para utilizarse como una fuente de poder de CD aislada cuya salida energiza los amplificadores de entrada y las etapas de modulación.

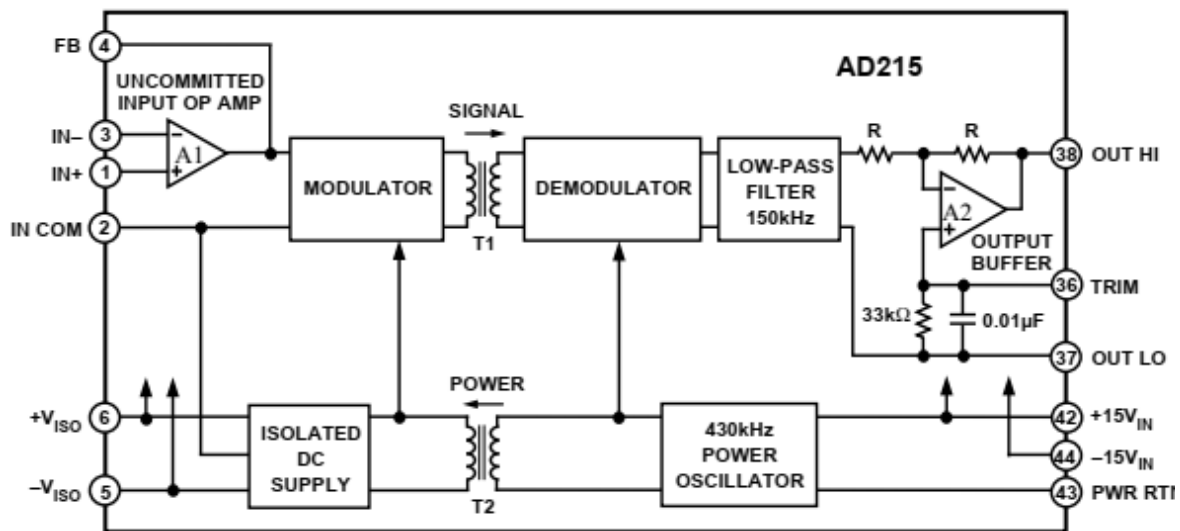


Figura 3. 7.- Amplificador de aislamiento magnético.

La señal analógica aplicada a la entrada es amplificada por A_1 y entonces aplicada a una de las entradas de la etapa de modulación, esta etapa modula la amplitud de la señal en la portadora. El transformador (T_2) acopla la señal modulada con la entrada a la etapa de demodulación en el lado no aislado del circuito. Se puede utilizar modulación de envolvente o modulación sincrónica. Finalmente, los amplificadores de CD a la salida del demodulador completan el procesamiento de señal.

3.3.2 Amplificadores de Aislamiento Óptico

Los amplificadores de aislamiento son instrumentos diseñados para medir las señales de tensión y corriente más pequeñas en presencia de una tensión alta de modo común mediante una barrera de seguridad eléctrica y aislamiento eléctrico. Son amplificadores diferenciales que protegen los componentes de adquisición de datos de tensiones de modo común, que son diferencias potenciales entre la tierra del instrumento y la tierra de la señal. El amplificador de aislamiento es en realidad un convertidor de energía; la energía eléctrica a la entrada del

modulador es convertida a algún tipo de energía no conductiva en la barrera de aislamiento y posteriormente convertida nuevamente en energía eléctrica en la salida del demodulador.

En esta tecnología es necesario el uso de dos elementos semiconductores distintos: por un lado, se necesita un diodo emisor de luz (LED) y por otro un fotodiodo o diodo receptor de luz. Entre ambos se formará la barrera de aislamiento, uno de ellos actuará de primario y el otro de secundario. El emisor es un diodo semiconductor con cápsula transparente, que posee forma de lente convergente para obtener un haz de luz concentrado, que emite luz al pasar una intensidad eléctrica por dicho diodo. La intensidad luminosa es proporcional a la intensidad eléctrica que atraviesa el montaje.

Por otro lado, el receptor posee una cápsula con una lente sobre el semiconductor libre que facilita la incidencia de los fotones sobre el propio semiconductor. Así los fotones chocan con los portadores de carga transmitiéndoles su energía y haciendo que éstos pasen de la banda de valencia a la banda de conducción. La intensidad luminosa es pequeña, por ello las corrientes producidas también son pequeñas (del orden de microamperes (μA)). En polarización directa estas corrientes serían despreciables, ya que las corrientes que se obtienen son del orden de los miliamperes (mA). Para poder utilizar las corrientes producidas por la luz hacemos trabajar al diodo en polarización inversa, en el cual la intensidad eléctrica era casi nula.

Para crear la barrera habrá que colocar estos dos dispositivos uno al lado del otro. El principal problema que tenemos es que la cantidad de luz que alcanza al primario debe ser exactamente igual a la cantidad de luz que alcance al secundario (ni más ni menos), para asegurarnos que la tensión que produjo la emisión de luz en el emisor es la misma que produce el receptor a su salida. Para ello el fabricante facilita el conjunto completo, formado por un primario y dos secundarios encapsulados todo en un conjunto perfectamente opacando a la luz para evitar deformaciones en la transformación tal como se muestra en la figura 3.8.

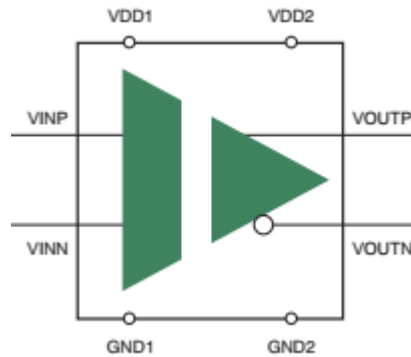


Figura 3. 8.- Amplificador de aislamiento óptico

3.3.2.1 Barrera de aislamiento

Se trata de un impedimento a las señales eléctricas, de tipo intensidad, para pasar de la parte izquierda del circuito a la derecha. Las barreras de aislamiento pueden ser ópticas, magnéticas (tipo transformador), capacitivas e incluso transferencia de calor. Observe en la figura 3.9, la terminal de tierra o común entre la entrada y salida son diferentes, esto es, están eléctricamente aisladas en el orden de millones de ohms (Ω). Nos referimos a valores normales de tensión de 2000 V y de hasta los 10000 V en tensiones de pico. La separación eléctrica, por tanto, debe ser lo más perfecta posible, lo cual lleva a la utilización de fuentes de alimentación y tomas de tierras totalmente diferenciadas y separadas unas de otras.

Sin embargo, esa barrera de separación no es ideal, por ello se utilizan una serie de parámetros para indicarnos cómo de perfecta resulta la barrera de separación. Vamos a presentar dos de ellos: capacidad de aislamiento y resistencia de aislamiento, que representa la resistencia que existe entre las dos partes del circuito tal como se muestra en la figura 3.9.

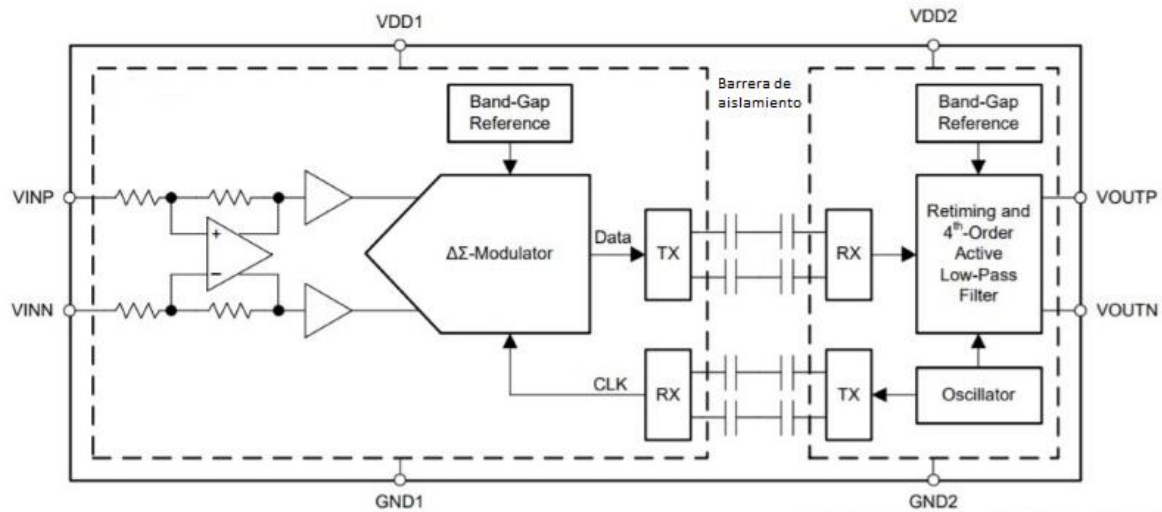


Figura 3. 9.- Barrera de aislamiento del circuito equivalente del amplificador óptico de aislamiento (AAO).

3.3.2.2 Intensidad de Pérdida

También se mide la perfección de la barrera mediante la señal que consigue atravesar la barrera, lo que se llama intensidad de pérdidas y que representa la intensidad eléctrica que puede circular de un lado a otro de la barrera de aislamiento, a través de la impedancia Z de aislamiento, debida al condensador y la resistencia de aislamiento.

3.3.3 Especificaciones Técnicas de los Amplificadores de Aislamiento Óptico

Las familias ISO130, HCPL7480, HCPL7800, TPL7920, AMC1200, SLAU521 son amplificadores de aislamiento con la misma arquitectura de barrera de aislamiento óptico tal como se muestra en la figura 3.10. Observe que existen dos trayectorias ópticas, una pasa a través de la barrera desde el LED hacia el fotodiodo detector de luz en la etapa de salida, la otra trayectoria es una retroalimentación negativa desde el LED hacia el fotodiodo en la sección de entrada. Este último fotodiodo linealiza la respuesta del LED en la etapa de entrada, ya que normalmente es una curva; esto es, la cantidad de luz que emite el LED no se duplica cuando se duplica el voltaje aplicado. Así, las dos trayectorias realmente operan en forma de una razón o relación y adicionalmente mantiene la exactitud a la lenta pérdida de luz por parte del LED debido a su envejecimiento.

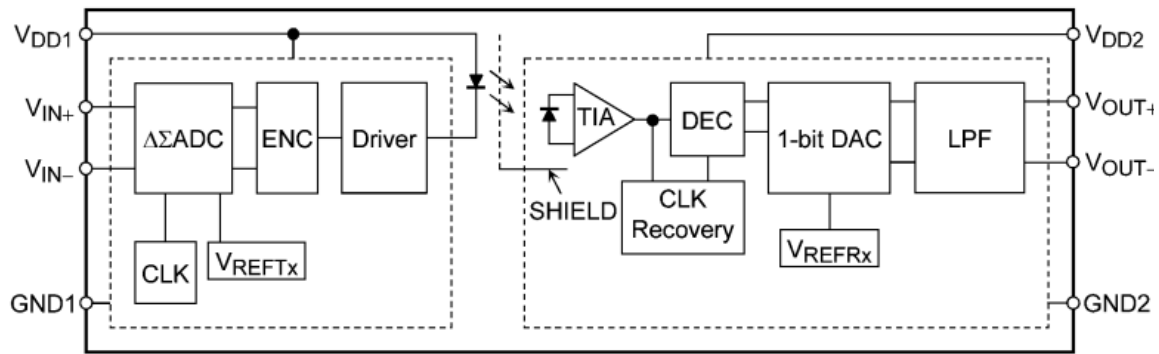


Figura 3. 10.- Arquitectura del Amplificador de Aislamiento Óptico (AAO).

Estas familias de amplificadores de aislamiento fueron diseñadas para la detección de corriente en aplicaciones de accionamiento electrónico de motores, en una implementación común, la corriente de la carga fluye a través de un conductor que es monitoreado por un sensor de corriente externo, ya sea invasivo o no invasivo, así el AAO detecta la caída de voltaje analógico resultante. Este voltaje de salida diferencial es proporcional a la corriente del motor y puede convertirse en una señal de un solo extremo mediante el uso de un amplificador operacional.

Según las especificaciones del fabricante, dado que las oscilaciones de voltaje de modo común de varios cientos de voltios en decenas de nanosegundos son comunes en los variadores de motor de inversor de conmutación modernos, los modelos antes mencionados de AAO fueron diseñados para ignorar velocidades de rotación transitorias de modo común muy altas (de al menos 10 KV / ms).

La alta capacidad de los modelos del amplificador de aislamiento proporciona la precisión y la estabilidad necesarias para monitorear la corriente del motor en entornos de control de motor de alto ruido, el cual proporciona un control más suave en varios tipos de aplicaciones de control de motor.

El producto también se puede utilizar para aplicaciones generales de aislamiento de señal analógica que requieren alta precisión, estabilidad y linealidad en condiciones de ruido igualmente severas.

Juntas, estas características ofrecen un rechazo de ruido de modo de aislamiento diferente, así como una excelente compensación y ganancia de precisión y estabilidad en el tiempo y la temperatura. Este rendimiento se entrega en un paquete DIP de 8 pines compacto, auto-insertable y estándar de la industria que cumple con los estándares de seguridad reguladores mundiales [10].

3.3.4 Nota general del fabricante

Los valores típicos representan el valor medio de todas las unidades de caracterización en las condiciones nominales de operación. Las especificaciones de derivación típicas se determinan calculando la tasa de cambio del parámetro especificado frente al parámetro de derivación (en condiciones de operación nominales) para cada unidad de caracterización, y luego promediando las tasas de unidades individuales. Las cifras de deriva correspondientes se normalizan a las condiciones nominales de funcionamiento y muestran cuánta deriva se produce a medida que el parámetro de deriva particular varía de su valor nominal, y todos los demás parámetros se mantienen en sus valores de funcionamiento nominales. Tenga en cuenta que las especificaciones de derivación típicas en las tablas a continuación pueden diferir de las pendientes de las curvas medias que se muestran en las figuras correspondientes.

- Avago, Toshiba, BB, HP, FILLCON, Texas Instruments, etc. recomiendan la operación con $V_{IN-} = 0\text{ V}$ (vinculado a GND1). Limitar V_{IN+} a 100 mV mejorará la no linealidad DC y la deriva no lineal. Si V_{IN-} se coloca por encima de $V_{DD1} - 2\text{ V}$, un modo de prueba interna puede ser activado Este modo de prueba es para probar el acoplamiento de LED y no es destinado al uso del cliente.
- Este es el valor absoluto del cambio de entrada desactivado frente a la temperatura.
- La ganancia se define como la pendiente de la mejor línea de salida diferencial voltaje ($V_{OUT+} - V_{OUT-}$) versus voltaje de entrada diferencial (V_{IN+} , V_{IN-}) sobre el rango de entrada especificado.
- Este es el valor absoluto del cambio de ganancia frente a la temperatura.

- La no linealidad se define como la mitad de la desviación de salida pico a pico desde la línea de ganancia de mejor ajuste, expresada como un porcentaje de la escala completa Tensión de salida diferencial.
- NL_{100} es la no linealidad especificada en un rango de voltaje de entrada de ± 100 mV.
- La corriente de suministro de entrada disminuye a medida que disminuye el voltaje de entrada diferencial (V_{IN+} , V_{IN-}).
- La corriente de suministro de salida máxima especificada ocurre cuando el voltaje de entrada diferencial (V_{IN+} , V_{IN-}) = -200 mV, el voltaje de entrada de funcionamiento máximo recomendado. Sin embargo, la oferta de salida la corriente continuará aumentando para voltajes de entrada diferenciales hasta aproximadamente -300 mV, más allá del cual la corriente de suministro de salida permanece constante.
- Debido a la naturaleza de condensador conmutado de el convertidor sigma-delta de entrada, se muestran valores promediados en el tiempo.
- Cuando la señal de entrada diferencial excede aproximadamente 308 mV, las salidas se limitarán a los valores típicos que se muestran.
- La corriente de cortocircuito es la cantidad de corriente de salida generada cuando cualquiera de las salidas está en cortocircuito a VDD2 o tierra.
- CMRR se define como la relación de la señal diferencial ganancia (señal aplicada diferencialmente entre los pines 2 y 3) a la ganancia de modo común (pines de entrada unidos y la señal aplicado a ambas entradas al mismo tiempo), expresado en dB.
- El ruido de salida proviene de dos fuentes principales: ruido de chopper y ruido de cuantificación sigma-delta. El ruido del picador resulta de Chopper estabilización de los amplificadores operacionales de salida. Ocurre en un momento específico. Frecuencia (típicamente 400 kHz a temperatura ambiente), y no está atenuada por el filtro de salida interno. Un circuito de filtro puede ser fácilmente agregado al post-amplificador externo para reducir la salida rms total ruido. El filtro de salida interno elimina la mayoría, pero no todos, del ruido de cuantificación sigma-delta. La magnitud de la
- El ruido de cuantificado de salida es muy pequeño a frecuencias más bajas (debajo 10 kHz) y aumenta a medida que aumenta la frecuencia.

- CMTI (inmunidad transitoria en modo común o CMR, rechazo en modo común) se prueba aplicando un aumento / caída exponencial de paso de voltaje en el pin 4 (GND1) con respecto al pin 5 (GND2). El aumento el tiempo de la forma de onda de prueba se establece en aproximadamente 50 ns. La amplitud del paso se ajusta hasta la salida diferencial (V_{OUT+} , V_{OUT-}) exhibe más de 200 mV de desviación de la salida promedio voltaje por más de 1 μ s. El HCPL-7840 continuará funcionando si se aplican pendientes de modo común de más de 10 kV / μ s, como siempre que se observen las limitaciones del voltaje de ruptura.
- El valor de la hoja de datos es la amplitud diferencial del transitorio en la salida de los AAO cuando se aplica una onda cuadrada de 1 Vpp, 1 MHz con tiempos de subida y bajada de 40 ns a VDD1 y VDD2.
- De acuerdo con UL 1577, cada optoacoplador se prueba mediante la aplicación de un voltaje de prueba de aislamiento ≥ 4500 Vrms durante 1 segundo (fuga límite de detección de corriente, $I_{IO} \leq 5 \mu$ A).

Esta es una medida de dos terminales: los pines 1 y 4 se acortan juntos y los pines 5 y 8 se acortan juntos [11] [12].

Capítulo 4 Diseño e Implementación de un Sistema de Instrumentación con Aislamiento Óptico

4.1 Introducción

Para poder llevar a cabo este proyecto se realizó primero la simulación en dos plataformas las cuales son, Proteus 8.2 edición Profesional y MultiSim 14, los resultados de las simulaciones comparándolas con las pruebas reales varían ligeramente pero el resultado aun así es satisfactorio.

4.2 Parametrización en Vcd

4.2.1 Circuito reductor de señal de voltaje de CD

Para reducir el voltaje de entrada del sensor de corriente al AAO fue necesario introducir una etapa de pre amplificación, ya que las entradas de voltaje del AAO solo permiten un valor de -0.2 a 0.5 Vcd (En el capítulo 3 y en la hoja del fabricante se especifica más a detalle las condiciones de operación del AAO HCPL 7840) esta etapa consiste en reducir el voltaje de cd de entrada de entre 1.25 a 12 Vcd a una salida de 0 a 0.5 Vcd por medio de un AO LM741 esto último para evitar dañar el AAO. Se tomó como referencia a 1.25 Vcd de entrada para incluir la energía normal de la carga y el voltaje suministrado por defecto del AO (la corriente que demanda el equipo sensado en vacío para funcionar), en la figura 4.1 se muestra una gráfica de su relación lineal que hay del voltaje de salida con respecto al de entrada V_o/V_i .

Una vez obtenida la relación deseada de V_o/V_i se procedió a realizar los cálculos correspondientes para la implementación del circuito reductor de voltaje tal como se muestra en la figura 4.1. Como es una gráfica lineal se puede hacer uso de la fórmula de la recta pendiente $Y=mX+b$. Donde R_f es la resistencia de laso cerrado, R_i es el valor de la resistencia del voltaje variable de la entrada a sensar, R_{os} es la resistencia de la entrada del voltaje constante, R_{com} es una resistencia de compensación a tierra la cual suele ser del paralelo de $R_f // R_i$, V_i es el Vcd variable de entrada y $V_{\pm}$ es el valor del Vcd constante.

Para la configuración del AO sumador inversor se aplicó el siguiente desarrollo matemático:

$$V_o = -\frac{R_f}{R_i} V_i - \frac{R_f}{R_{os}} V_{\pm} \quad (4.1)$$

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_i} V_i + \frac{R_f}{R_{os}} V_{\pm}\right) \quad (4.2)$$

$$y = mx + b \quad (4.3)$$

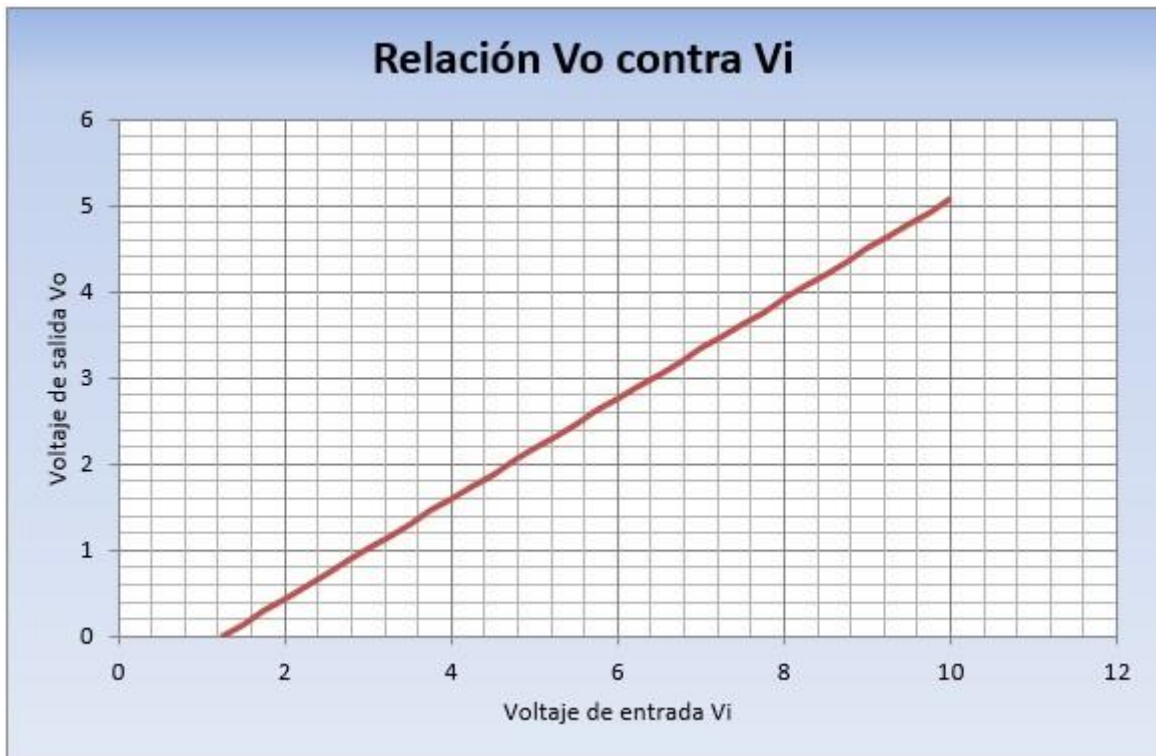


Figura 4. 1.- Gráfica del convertidor que se conecta al amplificador.

Relacionando las ecuaciones (4.2) y (4.3) obtenemos los siguientes parámetros:

$$V_o = -(mV_i + b) \quad (4.4)$$

$$y = V_o \quad (4.5)$$

$$m = \frac{R_f}{R_i} \quad (4.6)$$

$$x = V_i \quad (4.7)$$

$$b = \frac{R_f}{R_{os}} V_{\pm} \quad (4.8)$$

$$m = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} \quad (4.9)$$

Evalando los voltajes máximos y mínimos de entada y salida en la ecuación (4.8) tenemos el siguiente resultado:

$$m = \frac{V_{o \max} - V_{o \min}}{V_{i \max} - V_{i \min}} \quad (4.10)$$

$$m = \frac{0.5 V_{cd} - 0}{10 V_{cd} - 1.25 V_{cd}} \quad (4.10.1)$$

$$m = 0.057 \quad (4.10.2)$$

Igualando el valor de arrojado de la sub ecuación (4.10.2) con la ecuación (4.6).

$$0.057 = \frac{R_f}{R_i} \quad (4.11)$$

En estos casos de asigna una resistencia de $10K\Omega$ a R_i para encontrar la resistencia de lazo cerrado R_f para ello es necesario despejar la ecuación (4.11), una vez despejada obtenemos la siguiente expresión matemática:

$$0.057 (R_i) = R_f \quad (4.11.1)$$

$$0.057 (10K\Omega) = R_f \quad (4.11.2)$$

$$R_f = 570\Omega \quad (4.11.3)$$

Una vez obtenido el valor de m y R_f , es necesario despejar la ecuación (4.4) para obtener el valor de la resistencia R_{os} :

$$b = -(V_o - mV_i) \quad (4.11)$$

En esta situación se nos presentan dos sub ecuaciones debido a los voltajes máximos y mínimos de V_o y V_i , se puede sustituir los valores en ambas expresiones, con la finalidad de que el valor de b sea igual o parecido.

$$b = -(V_{o \min} - mV_{i \min}) \quad (4.12)$$

$$b = -(0 - (0.057)(1.25 V_{cd})) \quad (4.12.1)$$

$$b = 0.071 V_{cd} \quad (4.12.2)$$

$$b = -(V_{o \max} - mV_{i \max}) \quad (4.13)$$

$$b = -(0.5 V_{cd} - (0.057)(10 V_{cd})) \quad (4.13.1)$$

$$b = 0.070 V_{cd} \quad (4.13.2)$$

Igualando los valores de la sub ecuación (4.13.2) con la ecuación (4.8), estableciendo un voltaje $V_{\pm} = 12V_{cd}$ como referencia y despejándola se obtiene el valor de R_{os} :

$$0.07 V_{cd} = \frac{570\Omega}{R_{os}} V_{\pm} \quad (4.14)$$

$$R_{os} = \frac{570\Omega}{0.07 V_{cd}} (12V_{cd})^1 \quad (4.14.1)$$

$$R_{os} = 97K\Omega \quad (4.14.2)$$

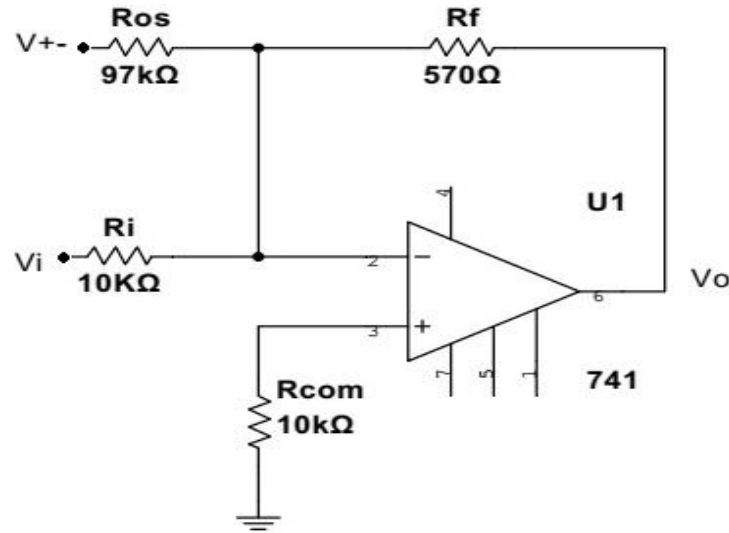


Figura 4. 2.- Etapa de pre amplificación de señal de CD reducida

4.2.2 Etapa de aislamiento

Para la etapa de aislamiento se toma como referencia el circuito propuesto por la hoja de datos dada por el fabricante, en la entrada del circuito donde de va a acoplar la señal de voltaje

¹ Nota; como es un circuito sumador inversor su salida será negativa, existen dos soluciones para intercambiar el signo del voltaje. La primera solución es colocar un circuito inversor con ganancia unitaria a la salida del circuito reductor, la segunda solución es cambiar el signo del voltaje de referencia $V_{\pm}$.

del arreglo mostrado en la figura 4.3, se toma el valor de la señal de salida del circuito de la figura 4.2 con el morivo de reducir y aislar el valor de la señal [13].

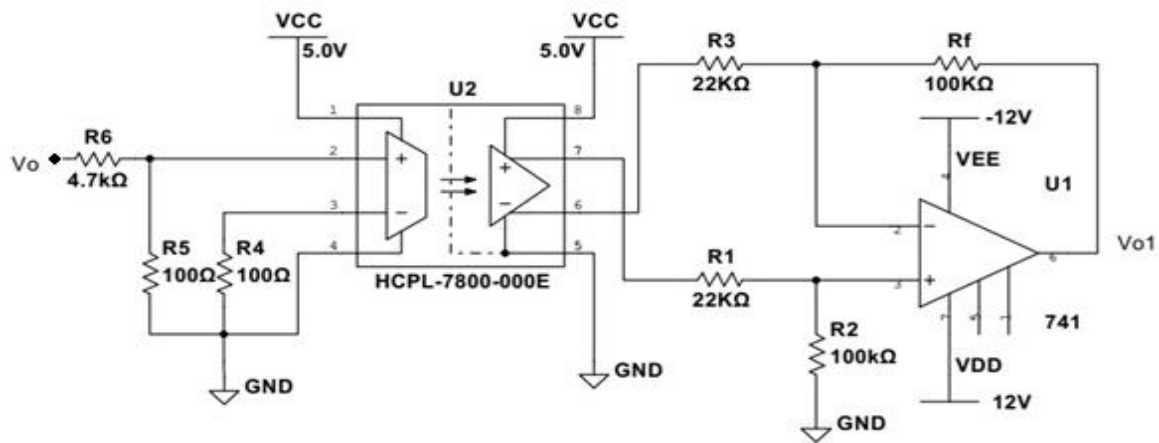


Figura 4. 3.- Etapa de aislamiento.

Una vez completada esta etapa se y realizando pruebas al circuito de la figura 4.4, esto con la finalidad de observas su comportamiento a la salida, para obtener resultados más visibles se le agrego otra etapa de amplificación en cascada con una ganancia de 10 veces su valor de entrada.

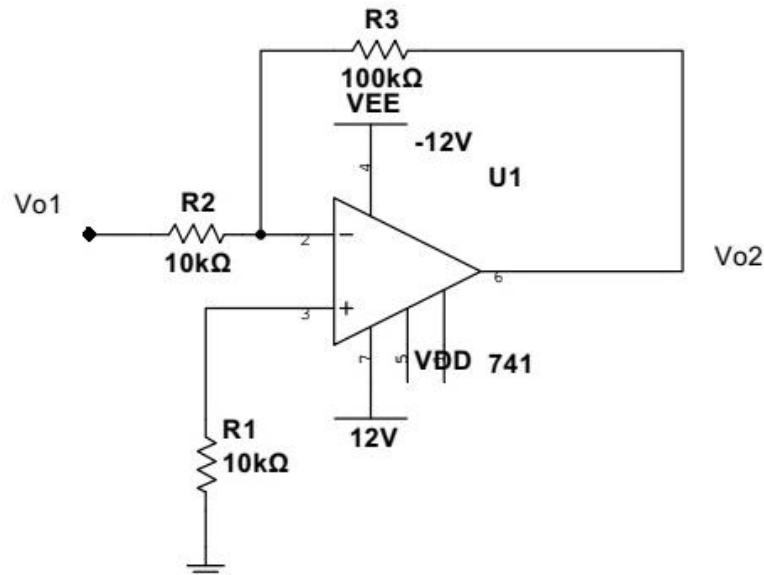


Figura 4. 4.- Etapa de amplificación.

Ya armado el circuito en su totalidad, se le insertó una señal de V_{cd} para observar su comportamiento de entrada y de salida, el cual fue arrojando los siguientes datos presentados en la tabla 4.1 y muestreados en la figura 4.5.

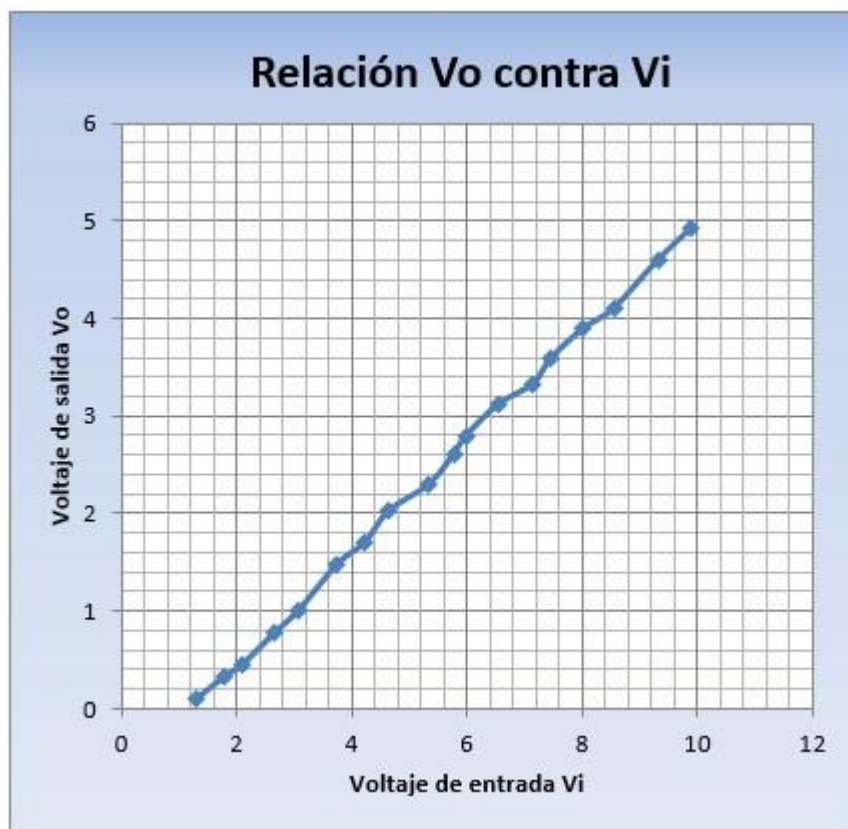


Figura 4. 5.- Grafica de salida del circuito de instrumentación completo.

V_i	V_o
1.3	0.098
1.78	0.321
2.11	0.457
2.66	0.775
3.08	1.009
3.75	1.48
4.23	1.707
4.65	2.031
5.34	2.298
5.77	2.607
5.98	2.793
6.55	3.121
7.14	3.325
7.46	3.587
8.01	3.891
8.55	4.103
9.32	4.6
9.89	4.92

Tabla 4. 1.- Voltajes obtenidos de entrada contra salida.

Una vez hecho el circuito para comprobar su salida se insertó a la entada de este un puente de Wheatstone con la finalidad de observar su comportamiento a la salida con forme al nivel de aislamiento de AAO. Para reducir un poco el circuito se siguió el siguiente diagrama el cual esta referenciado a las etapas previamente mencionadas.

Dado que en el puente de Wheatstone funciona a base de desbalance de voltaje, se propuso introducir un pequeño motor a la salida del circuito de aislamiento, el cual cambiará de sentido de giro una vez que el termistor representado por la resistencia R_3 aumente su valor, el valor de la resistencia R_4 tendrá que ser del mismo valor de la resistencia R_3 , así mismo

los valores de las resistencias R1 y R2. El seguidor de voltaje con el transistor TIP41 se agregó a la salida de amplificación para evitar que la señal de las etapas previas se abatiera.

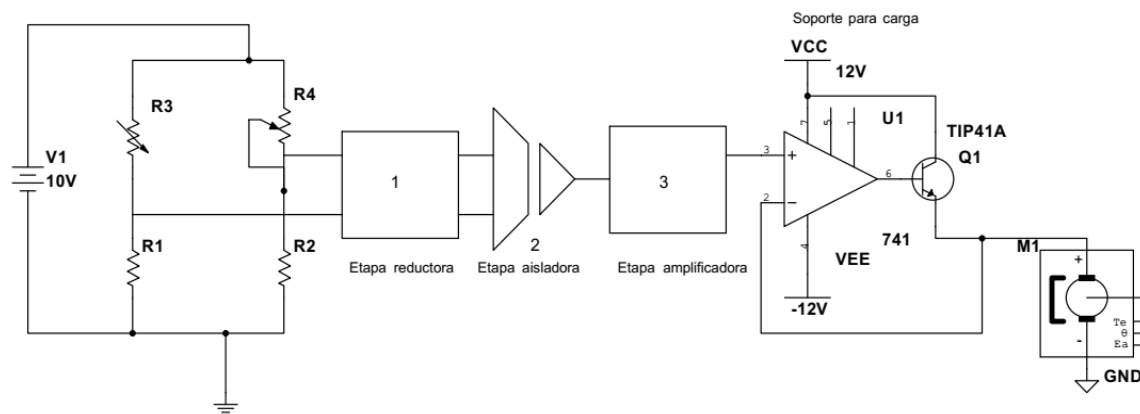


Figura 4. 6.- Circuito de instrumentación de CD con puente de Wheatstone.

Al realizar la prueba al AAO e insertar sus etapas previas, medimos la caída de tensión del puente de Wheatstone para comprobar que la resistencia térmica daba los resultados deseados, los valores utilizados en la primera prueba conforme se muestra en la figura 4.6 son de $R1 = R2 = R4 \rightarrow 220\Omega$ y $R3 = 300\Omega$. En la figura 4.7 se muestra el diseño físico del AAO en protoboard y en la imagen 4.8 se muestra el circuito terminado en baquelita.

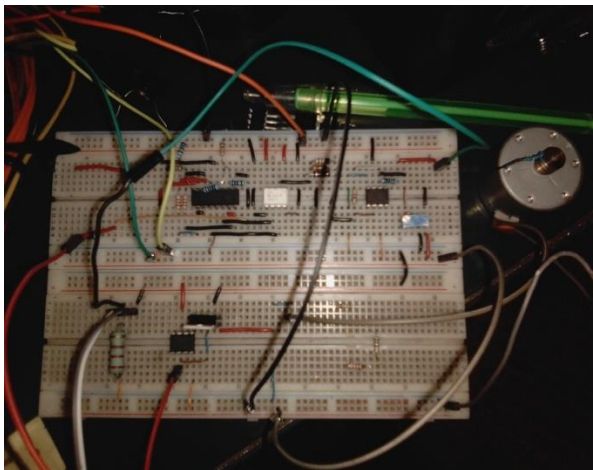


Figura 4. 7.- Circuito completo del AAO.



Figura 4. 8.- Circuito final del AAO.

4.3 Parametrización en CA

Para sensar la corriente alterna en este circuito de aislamiento fue necesario contar con un transformador de corriente a voltaje tipo dona con matricula ZMCT103D el cual según las especificaciones del fabricante mostrado en la figura 4.9 y en el apéndice D para una entrada de 5 A_{RMS} tendrá una salida de 1 V_{RMS}, si lo relacionamos al circuito del AAO ya mencionado anteriormente, entonces se tendría que omitir la entrada reductora de la figura 4.2 simplificando el circuito. Al realizar las pruebas de sensado de corriente observamos como la gráfica de la figura 4.9 cumple con la información dada por el fabricante, en la tabla 4.2 se muestran la información arrojada por el circuito de aislamiento.



Figura 4. 9.- Grafica del sensor de corriente tipo dona.

I en	V sal
0.57	0.109
0.936	0.175
1.475	0.282
2.09	0.398
2.57	0.498
2.99	0.566
3.48	0.659
4.11	0.75
4.55	0.87
5.03	0.924

Tabla 4. 2.- Medición del sensor de corriente tipo dona

4.3.1 Lectura del circuito de aislamiento

Una vez obtenido la parametrización del circuito de aislamiento, se introdujo la información arrojada por este a un micro controlador de la marca Arduino, el cual nos ayudara para el control y el accionamiento de una sobrecarga sostenida por un tiempo prolongado, en la actualidad existe dichas protecciones inteligentes de sobre corriente, las cuales te permiten detectar y diferenciar un problema de sobrecarga de corto plazo a un corto circuito (CC). La acción del micro controlador consta de tres etapas, las cuales se muestran en la figura 4.10.

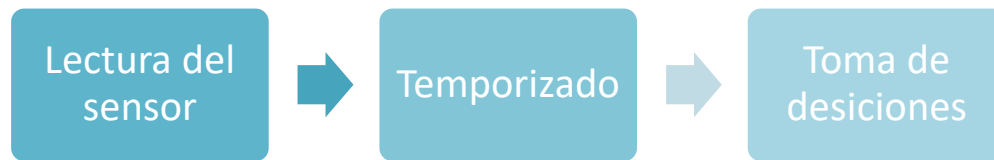


Figura 4. 10.- Lógica del programa.

4.3.2 Lectura des sensor, temporización y toma de decisiones

Una vez hecha la parametrización del sensor de corriente se acoplo al circuito de aislamiento, quedando solo el circuito de la figura 4.3 y el circuito de la figura 4.4 ya mencionados anteriormente. Como las entradas analógicas del micro controlador Arduino no permiten la entrada de voltajes negativos se le acoplo a la salida del circuito un seguidor de voltaje solo con alimentación positiva, mandando la alimentación negativa a tierra, esto último para tener solo el sumí ciclo positivo, así como se muestra en la figura 4.12.

Al tener una entrada amplificada de 10 veces el voltaje de entrada del sensor con respecto a su corriente, el micro controlador actúa en número de veces que el usuario lo desee programar, así como la corriente máxima y el tiempo de apertura. La lógica del programa permite desactivas y activar tres veces (dependiendo la programación) en un determinado tiempo a la corriente demandada de alguna carga cualquiera, una vez cumplido este límite se encenderá una luz de alerta y se cortará la energía de la carga, esto para proteger tanto al usuario como al equipo.

4.4 Simulación del programa

Para observar el comportamiento de la corriente en el sensor tipo dona se decidio por cortocircuitar un transformador con un potenciómetro esto con la finalidad de tener un control de la corriente en la simulacion tal como se obserba en la figura 4.11, para tener una lectura muy sercana a los datos de la tabla 4.2 se manipulo los datos del transformador con la finalidad de tener una referencia lo mas sercana a la realidad en la salida.

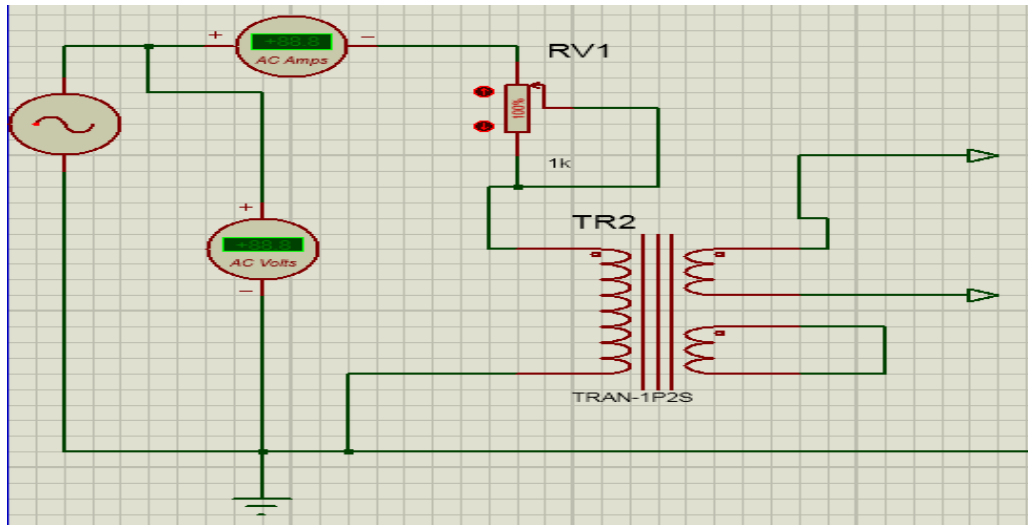


Figura 4. 11.- Circuito de sobre corriente controlada.

Una vez ajustando los parametros del transformador se procedio a simular el Arduino, para ello se colodaron tres diodos LED a tres de sus salidas, esto para observar el funcionamiento de la lógica del programa. El circuito completo queda uniendo la figura 4.11 la cual proporciona el sensado de corriente a la simulacion, luego se inserto la etapa de aislamiento conformado por la figura 4.3, y a la salida de la etapa de aislamiento se le coloco la etapa de toma de desisiones conformada por el circuito de la figura 4.12.

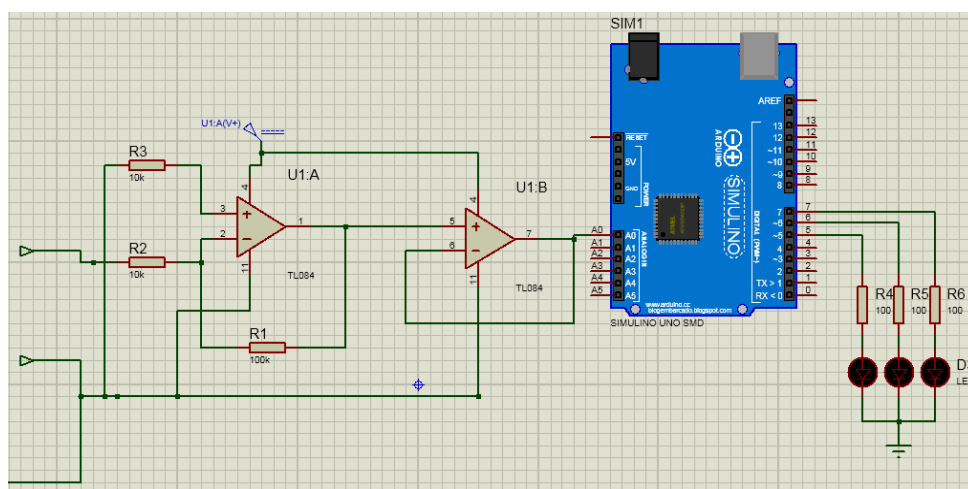


Figura 4. 12.- Simulación del Arduino.

En la figura 4.13 se muestra el circuito con el AAO terminado conectado al módulo del Arduino, como se puede observar para controlar la corriente se insertó un potenciómetro de

10K Ω en serie con el multímetro, cortocircuitando el lado secundario del transformador con ambos elementos, similar a la figura 4.11.

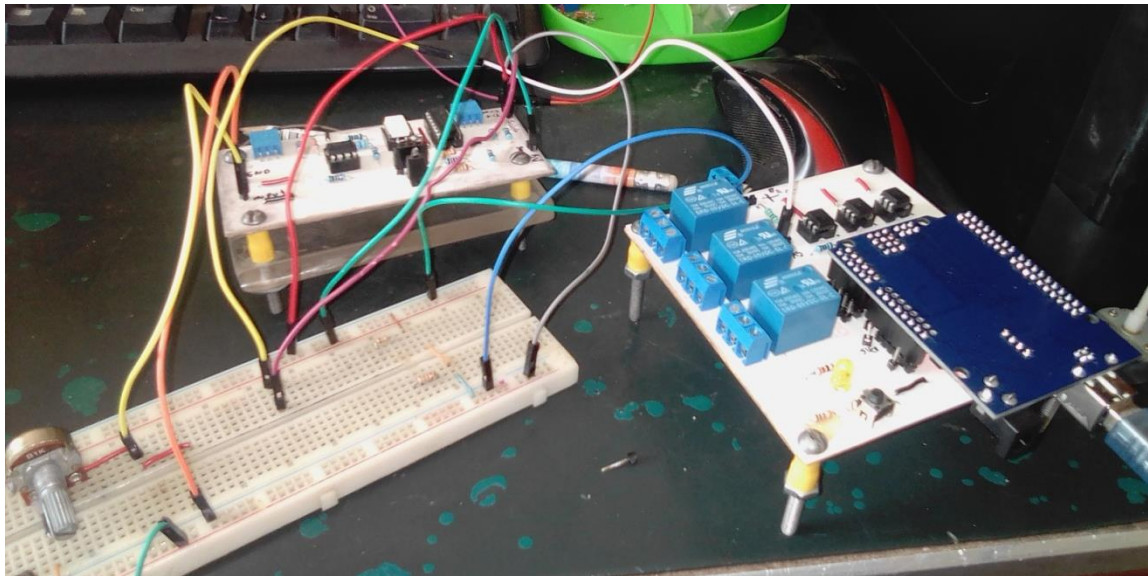


Figura 4. 13.- Pruebas de sensado de corriente.

Obsérvese que en la figura 4.14 se muestran los resultados arrojados del puerto serie del Arduino comparados con los del multímetro [14] [15].

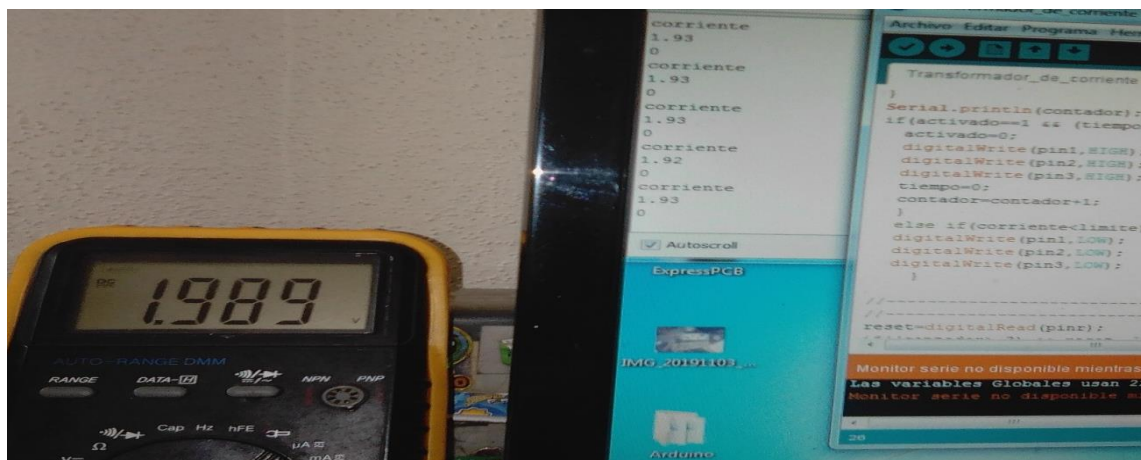


Figura 4. 14.- Datos arrojados del sensado de corriente

4.5 Prueba de aislamiento

Una vez hechas las mediciones de procedió a inyectar ruido eléctrico a alta frecuencia al circuito de aislamiento, esto se trabajó con el circuito en condiciones normales en CA, se le

implementó un circuito sumador con ganancia unitaria, en una de sus entradas se colocó el sensor de corriente tipo dona, y en la otra se colocó un generador de señales a 10 mV con una frecuencia de 1KHz.

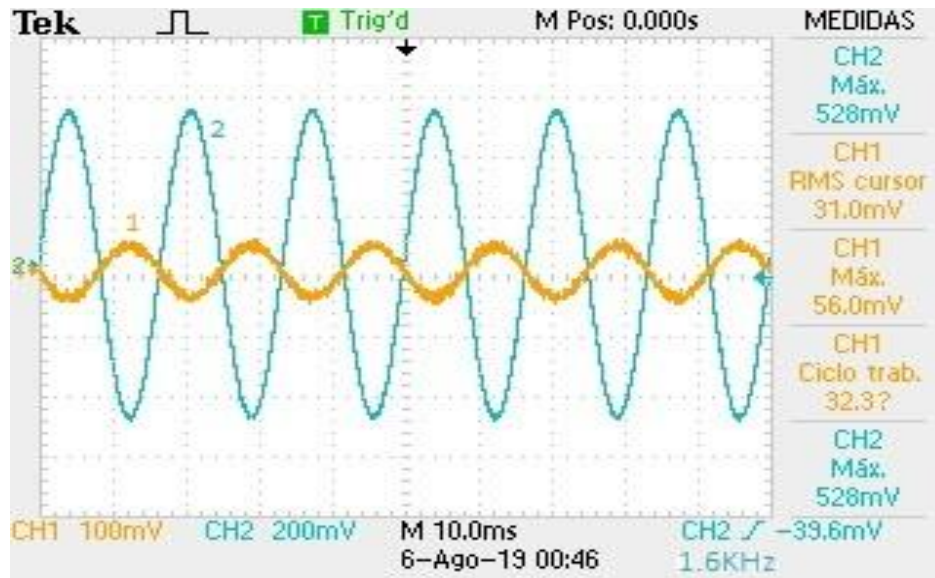


Figura 4. 15.- Prueba de aislamiento

Como se puede observar en la figura 4.15, la señal de entrada número uno posee un rizado causado por la frecuencia sumada a la señal sensada, en la señal de salida número dos se amplificó un poco además de que la señal carece de ruido, cabe aclarar que este muestreo fue tomado solo a las entradas y salidas del AAO, la ganancia del AAO está dada por el voltaje de alimentación tal como lo especifica el fabricante en el apéndice C.

Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

El presente trabajo cumple el funcionamiento del AAO basado en un sistema de instrumentación, uno de los diseños más laboriosos fue la implementación de la entrada ya que en la hoja de las especificaciones del fabricante no viene tan visible.

Otro pequeño hincapié fue la implementación de circuitos seguidores de voltaje a la salida del AAO y a la entrada del AO en modo diferencial para reforzar su salida, ya que los voltajes de salida del AAO son muy débiles.

En el modelado del circuito de instrumentación parametrizado en CD se colocó un motor a su salida para observar el cambio de giro respecto al cambio de V causado por el desequilibrio del puente de Wheatstone dada por la termo resistencia, una aplicación de este tipo de circuito es la implementación de un equipo de medición médico, esto con la finalidad de inyectar suero a un paciente.

Para el modelado del sistema de instrumentación en CA se colocó una resistencia de $10\text{ K}\Omega$ de la entrada analógica a tierra, esto con la finalidad de no tener valores indeseados, este equipo de instrumentación fue creado a causa de un trabajo anterior, el cual tenía como función principal sustituir a las protecciones antiguas por un sistema de protección automático creado por la Facultad de Ingeniería Eléctrica con el motivo de demostrar a los alumnos de dicha dependencia, la implementación de un equipo de medición de sensado de corriente capaz de actuar y demostrar que ha ocurrido un falla.

Cabe mencionar que los relevadores se alimentaron a 18 Vcd , ya que si se alimenta a 5 Vcd hay una caída de tensión de 1.3 Vcd por la Z del relevador y por la caída de tensión de los diodos. Si algún lector desea mejorar este sistema, se le pide de favor que lea toda la investigación y no solo revise el capítulo 4 o el código fuente.

5.2 Recomendaciones

Dado que el AAO consta de algunas conexiones de muestra en la hoja de especificaciones del fabricante es preciso aclarar la implementación de un circuito seguidor de voltaje en las entradas de las señales del mismo, esto con el motivo de reforzar la señal sensada, otro punto que cabe mencionar es el muestreo de las señales sensadas. Las señales más óptimas para su uso son las de CC, diente de sierra o señal cuadrada ya que mantiene una mejor estabilidad en el muestreo en la captura de datos, a comparación de las señales de CA sinusoidales.

El AAO está diseñado en su mayoría para el sensado de controladores de motores eléctricos, más sin embargo se podría utilizar para el desarrollo de instrumentación médica o biomedicina.

Evite utilizar un optoacoplador cualquiera para transferir una señal aislada, ya que esta solo le causara ruido eléctrico a la salida del circuito sin importar el tipo de arreglos que se le implementen a este.

En la prueba de aislamiento se generó un bucle a tierra, para ello solo se retiró un pin alimentado a la carga aislada conectado por las mismas tierras para observar el comportamiento de la señal de salida con respecto a la señal de la entrada del AAO, la carga no consumía más de 5mA, en estudios futuros tratar de hacerlo con una carga más robusta para observar más a detalle el comportamiento de los demás componentes aislados.

Si es posible trate de utilizar AO TL084 para un mejor resultado en las pruebas de muestreo de señales amplificadas.

Bibliografía

- [1] A. R. Hambley, *Electronica*, USA: PRENTICE HALL, 2007.
- [2] W. D. Cooper y A. D. Helfrick, «Instrumentacion libro 1,» de *Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición*, México, PEARSON, 1991.
- [3] A. Creus Sole, «Instrum_lib2,» de *Instrumentacion Industrial*, Barcelona, España, Marcombo, 1997.
- [4] A. Creus Sole, «Instrumentación Industrial,» México, Alfaomega, 2010.
- [5] W.Boltom, *Mecatronica Sistemas de Control Electrico en Ingenieria Mecanica y Electrica.*, Mexico: AlfaOmega, 2001.
- [6] J. Bosch y M. Carmona, «Instrumentacion Inteligente,» 13 07 2012. [En línea]. Available: <https://acortar.link/8dfupv>. [Último acceso: 28 01 2019].
- [7] J. O. Escribano, «Electricidad y Electronica.,» 2014.
- [8] J. Forcada G., «El Amplificador Oprracional,» Mexico, Algaomega, 1996.
- [9] R. L. Boylestad y L. Nashelsky, «Electrónica: Teoria de Circuitos y Dispositivos Electrónicos,» Mexico, PEARSON, 2009.
- [10] R. Blog, «DDS(ダイレクト・デジタル・シンセサイザ) | 個人データシート - 楽天ブログ,» [En línea]. Available: <https://acortar.link/zRRnu2>. [Último acceso: 06 Octubre 2019].
- [11] AVAGO, «Data Sheet Avago Tech,» 18 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://acortar.link/g7nGY5>. [Último acceso: 20 Julio 2019].

- [12] V. SEMICONDUCTORS, «Designing Linear Amplifiers Using the IL300 Optocoupler,» [En línea]. Available: <https://acortar.link/4fxDFa>. [Último acceso: 01 Septiembre 2019].
- [13] A. technologies, «Optocoupler designer's guide,» Septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://acortar.link/trzSei>. [Último acceso: 15 Junio 2019].
- [14] Arduino, «Tutorial sensor de corriente ACS712,» 03 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://acortar.link/VvTJjJ>. [Último acceso: 06 Agosto 2019].
- [15] naylampmechatronics, «Tutorial sensor de corriente AC no invasivo SCT-013,» 21 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://acortar.link/huJjFd>. [Último acceso: 08 Octubre 2019].

Apéndice

Código del Arduino

```
int pin1=5;
int pin2=6;
int pin3=7;
int pin4=10;//pin de aviso
int pinr=11;//pin de reinicio
int reset;
unsigned long tiempo=0;
long inicio=0;
long ultimo=0;
int activado=0;
int contador=0;

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);
    //analogReference(INTERNAL);
    pinMode(pin1,OUTPUT);
    pinMode(pin2,OUTPUT);
    pinMode(pin3,OUTPUT);
    pinMode(pin4,OUTPUT);
    pinMode(pinr,INPUT);
}

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
```

```

tiempo=millis();

float limite=2.20;//limite maxima de la corriente

//-----*Bloque para lectura del sensor*-----

float sumatoria=0;

int N=0;

float voltaje_sensor;

float corriente=0;

while(millis()-tiempo<500){//duracion de 5 seg. en el muestreo

    voltaje_sensor=analogRead(A4)*(1.1/1023.0);//1.1 el el voltaje minimo

    corriente=voltaje_sensor*4.5;

    sumatoria=sumatoria+sq(corriente);

    N=N+1;

}

sumatoria=sumatoria*1;//para compensar el cuadrado del semiciclo negativo

corriente=sqrt((sumatoria)/N);//Ecuacion de Irms

Serial.print("Corriente I= ");

Serial.println(corriente);

//-----*****-----

//-----*bloque del temporizador*-----

if((corriente>=limite) && activado==0){

    activado=1;

    inicio=millis();

    ultimo=inicio+5000;//tiempo de 5segundos

}

Serial.print("Contador: ");

```

```

Serial.println(contador);
if(activado==1 && (tiempo>ultimo)){
    activado=0;
    digitalWrite(pin1,HIGH);
    digitalWrite(pin2,HIGH);
    digitalWrite(pin3,HIGH);
    tiempo=0;
    contador=contador+1;
}
else if(corriente<limite){
    digitalWrite(pin1,LOW);
    digitalWrite(pin2,LOW);
    digitalWrite(pin3,LOW);
}

//-----*****-----
//-----*bloque de advertencia*-----

reset=digitalRead(pinr);
if((contador>=3) && reset==LOW){
    digitalWrite(pin1,HIGH);
    digitalWrite(pin2,HIGH);
    digitalWrite(pin3,HIGH);
    digitalWrite(pin4,HIGH);
    delay(500);
    digitalWrite(pin4,LOW);
    delay(500);
}

```

```

    }

//-----*****-----

//-----*bloque para Reiniciar*-----

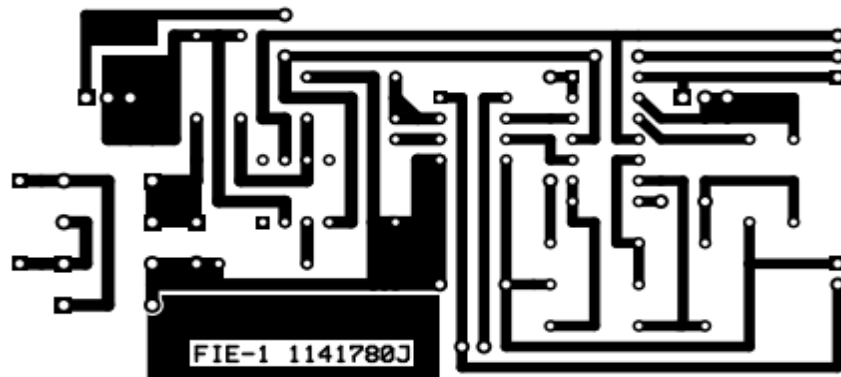
if((contador>=3) && reset==HIGH){
    contador=0;
    tiempo=0;
    activado=0;
    inicio=0;
    ultimo=0;
}

//-----*****-----

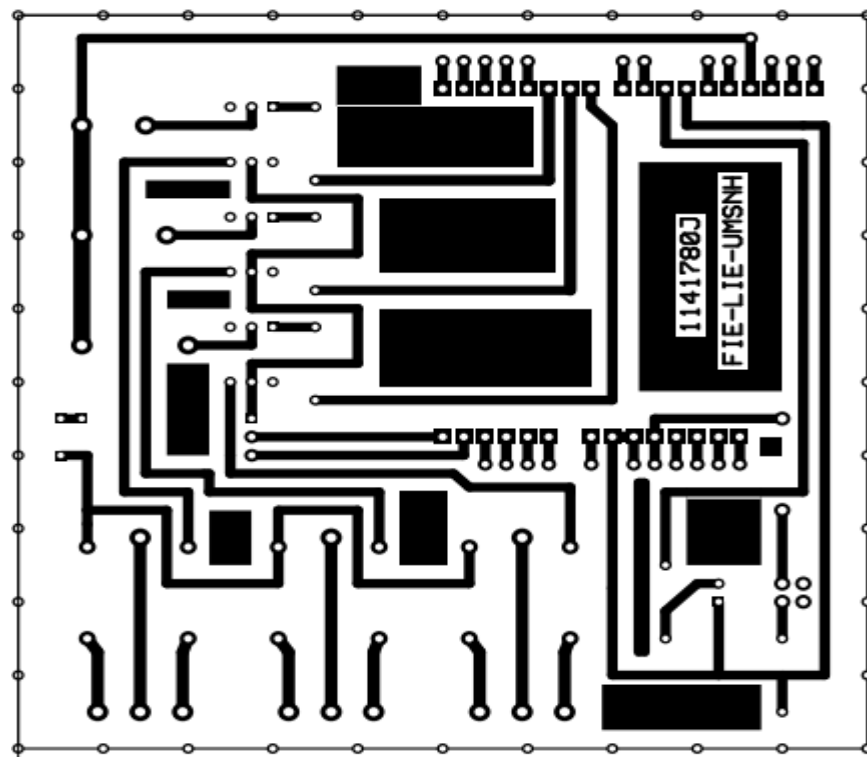
}

```

Diseño en PCB



Circuito alimentador del AAO



Placa Arduino

Hoja de datos del HCPL7840

Data Sheet



Description

The HCPL-7840 isolation amplifier family was designed for current sensing in electronic motor drives. In a typical implementation, motor currents flow through an external resistor and the resulting analog voltage drop is sensed by the HCPL-7840. A differential output voltage is created on the other side of the HCPL-7840 optical isolation barrier. This differential output voltage is proportional to the motor current and can be converted to a single-ended signal by using an op-amp as shown in the recommended application circuit. Since common-mode voltage swings of several hundred volts in tens of nanoseconds are common in modern switching inverter motor drives, the HCPL-7840 was designed to ignore very high common-mode transient slew rates (of at least 10 kV/ μ s).

The high CMR capability of the HCPL-7840 isolation amplifier provides the precision and stability needed to accurately monitor motor current in high noise motor control environments, providing for smoother control (less "torque ripple") in various types of motor control applications.

The product can also be used for general analog signal isolation applications requiring high accuracy, stability, and linearity under similarly severe noise conditions. For general applications, we recommend the HCPL-7840 (gain tolerance of $\pm 5\%$). The HCPL-7840 utilizes sigma delta (Σ - Δ) analog-to-digital converter technology, chopper stabilized amplifiers, and a fully differential circuit topology fabricated using Avago's 0.8 μ m CMOS IC process. Together, these features deliver unequalled isolation-mode noise rejection, as well as excellent offset and gain accuracy and stability over time and temperature. This performance is delivered in a compact, auto-insertable, industry standard 8-pin DIP package that meets worldwide regulatory safety standards. (A gull-wing surface mount option #300 is also available).

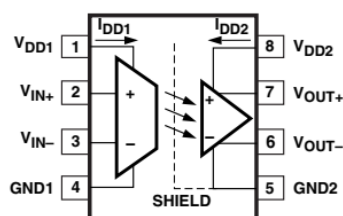
Features

- 15 kV/ μ s common-mode rejection at $V_{CM} = 1000$ V
- Compact, auto-insertable standard 8-pin DIP package
- 0.00025 V/V/ $^{\circ}$ C gain drift vs. temperature
- 0.3 mV input offset voltage
- 100 kHz bandwidth
- 0.004% nonlinearity
- Worldwide safety approval: UL 1577 (3750 Vrms/1 min.) and CSA, IEC/EN/DIN EN 60747-5-2
- Advanced Sigma-Delta (Σ - Δ) A/D converter technology
- Fully differential circuit topology
- 0.8 μ m CMOS IC technology

Applications

- Motor phase and rail current sensing
- Inverter current sensing
- Switched mode power supply signal isolation
- General purpose current sensing and monitoring
- General purpose analog signal isolation

Functional Diagram



A 0.1 μ F bypass capacitor must be connected between pins 1 and 4 and between pins 5 and 8.

CAUTION: It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

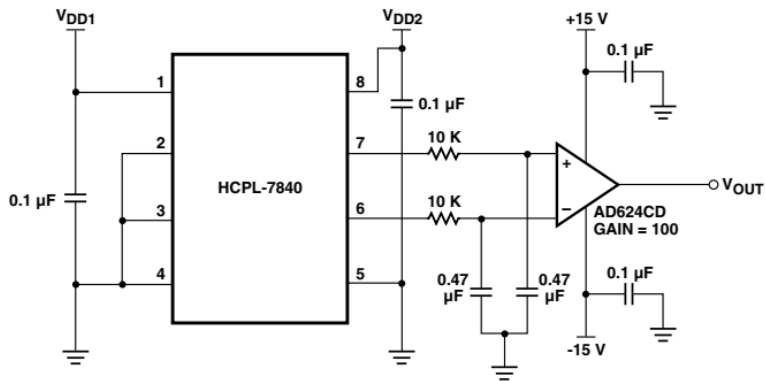


Figure 1. Input offset voltage test circuit.

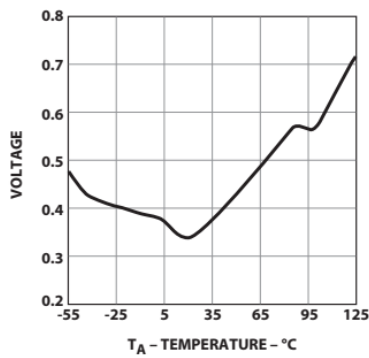


Figure 2. Input offset voltage vs. temperature.

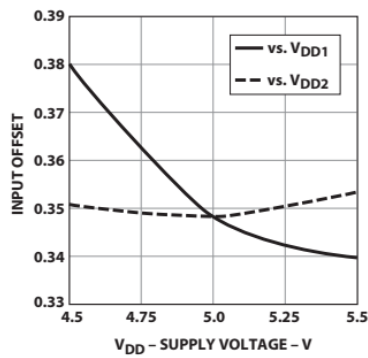


Figure 3. Input offset vs. supply.

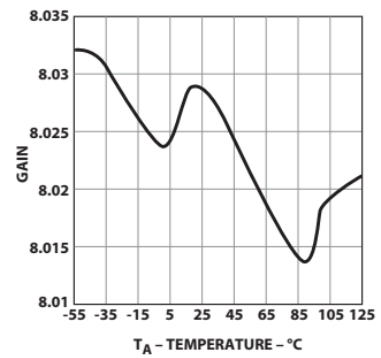


Figure 4. Gain vs. temperature.

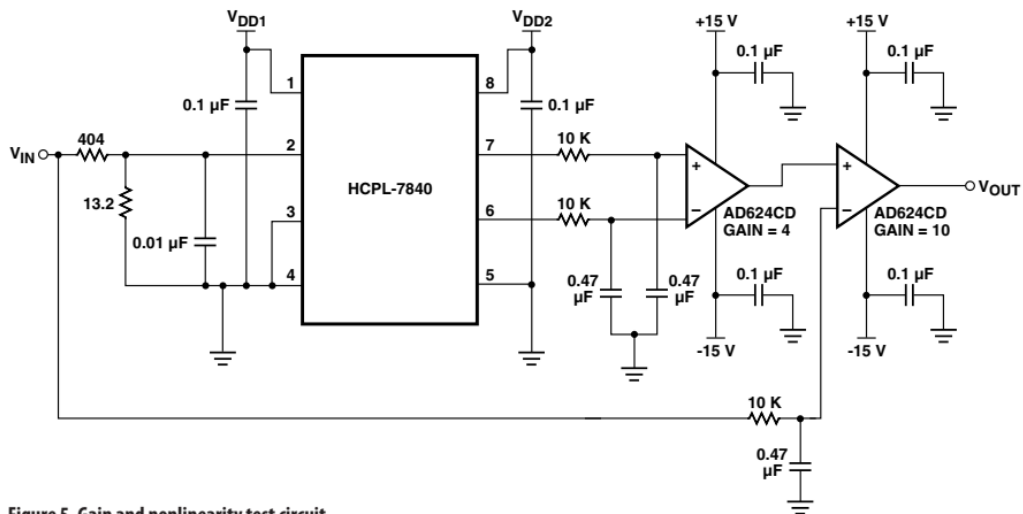


Figure 5. Gain and nonlinearity test circuit.

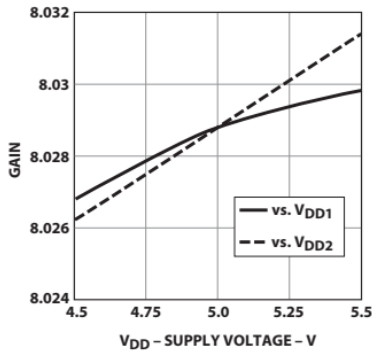


Figure 6. Gain vs. supply.

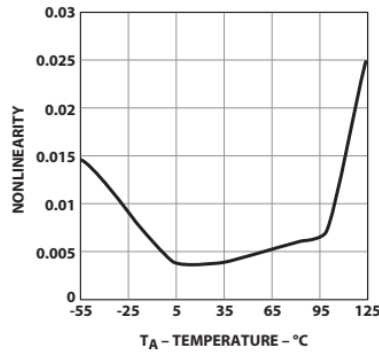


Figure 7. Nonlinearity vs. temperature.

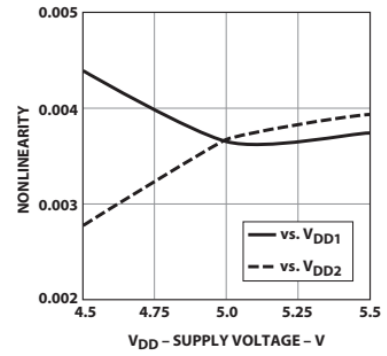


Figure 8. Nonlinearity vs. supply.

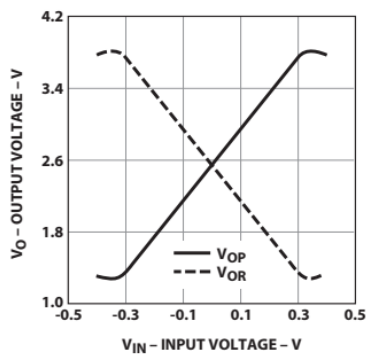


Figure 9. Output voltage vs. input voltage.

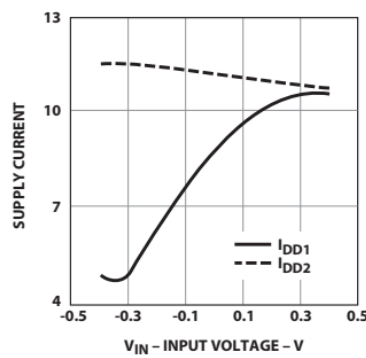


Figure 10. Supply current vs. input voltage.

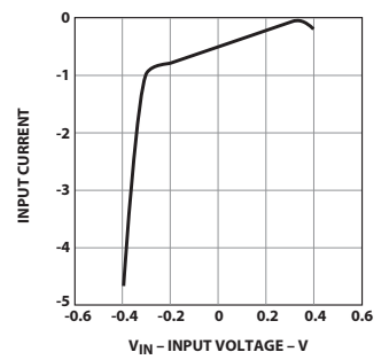


Figure 11. Input current vs. input voltage.

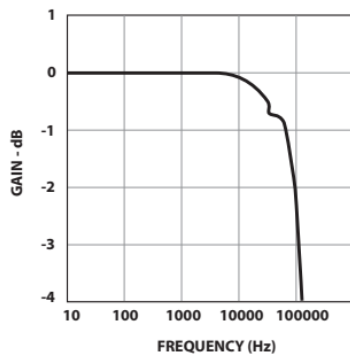


Figure 12. Gain vs. frequency.

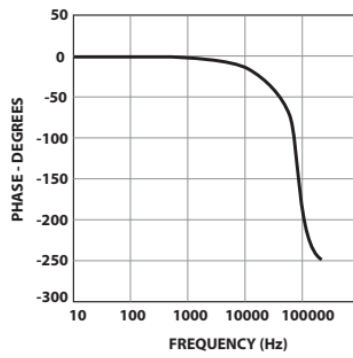


Figure 13. Phase vs. frequency.

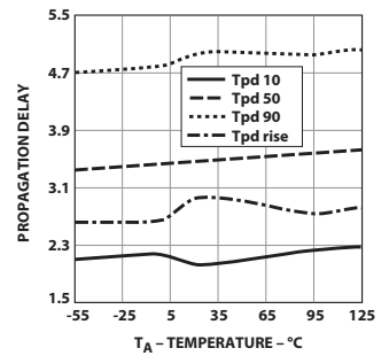


Figure 14. Propagation delay vs. temperature.

AC Electrical Specifications

Unless otherwise noted, all typicals and figures are at the nominal operating conditions of $V_{IN+} = 0$, $V_{IN-} = 0$ V, $V_{DD1} = V_{DD2} = 5$ V and $T_A = 25^\circ\text{C}$; all Min./Max. specifications are within the Recommended Operating Conditions.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Conditions	Fig.	Note
V_{OUT} Bandwidth (-3 dB)	BW	50	100		kHz	$V_{IN+} = 200$ mV _{pk-pk} sine wave.	12,13	
V_{OUT} Noise	N_{OUT}		31.5		mVrms	$V_{IN+} = 0.0$ V		13
V_{IN} to V_{OUT} Signal Delay (50 – 10%)	t_{PD10}		2.03	3.3	μs	Measured at output of MC34081 on Figure 15. $V_{IN+} = 0$ mV to 150 mV step.	14,15	
V_{IN} to V_{OUT} Signal Delay (50 – 50%)	t_{PD50}		3.47	5.6				
V_{IN} to V_{OUT} Signal Delay (50 – 90%)	t_{PD90}		4.99	9.9				
V_{OUT} Rise/Fall Time (10 – 90%)	$t_{R/F}$		2.96	6.6				
Common Mode Transient Immunity	CMTI	10.0	15.0		kV/ μs	$V_{CM} = 1$ kV, $T_A = 25^\circ\text{C}$	16	14
Power Supply Rejection	PSR		170		mVrms	With recommended application circuit.		15

Package Characteristics

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Conditions	Fig.	Note
Input-Output Momentary Withstand Voltage	V_{ISO}	3750			Vrms	RH < 50%, $t = 1$ min., $T_A = 25^\circ\text{C}$		16,17
Resistance (Input-Output)	R_{IO}		$>10^9$		Ω	$V_{IO} = 500$ V _{DC}		18
Capacitance (Input-Output)	C_{IO}		1.2		pF	F = 1 MHz		18

DC Electrical Specifications

Unless otherwise noted, all typicals and figures are at the nominal operating conditions of $V_{IN+} = 0$, $V_{IN-} = 0$ V, $V_{DD1} = V_{DD2} = 5$ V and $T_A = 25^\circ\text{C}$; all Min./Max. specifications are within the Recommended Operating Conditions.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Conditions	Fig.	Note
Input Offset Voltage	V_{OS}	-2.0	0.3	2.0	mV	$T_A = 25^\circ\text{C}$	1,2	
		-3.0		3.0	mV	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$	1,2	
Magnitude of Input Offset Change vs. Temperature	$ \Delta V_{OS}/\Delta T_A $		3.0	10.0	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		3	2
Gain ($\pm 5\%$ Tol.)	G	7.60	8.00	8.40	V/V	$-200\text{ mV} < V_{IN+} < 200\text{ mV}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	4,5,6	3
Magnitude of V_{OUT} Gain Change vs. Temperature	$ \Delta G/\Delta T_A $		0.00025		V/V/ $^\circ\text{C}$			4
V_{OUT} 200 mV Nonlinearity	NL_{200}		0.0037	0.35	%	$-200\text{ mV} < V_{IN+} < 200\text{ mV}$	7,8	5
Magnitude of V_{OUT} 200 mV Nonlinearity Change vs. Temperature	$ dNL_{200}/dT $		0.0002		%/ $^\circ\text{C}$			
V_{OUT} 100 mV Nonlinearity	NL_{100}		0.0027	0.2	%	$-100\text{ mV} < V_{IN+} < 100\text{ mV}$		6
Maximum Input Voltage before V_{OUT} Clipping	$ V_{IN+} _{MAX}$		308.0		mV		9	
Input Supply Current	I_{DD1}		10.86	15.5	mA	$V_{IN+} = 400\text{ mV}$	10	7
Output Supply Current	I_{DD2}		11.56	15.5		$V_{IN+} = -400\text{ mV}$		8
Input Current	I_{IN+}		-0.5	5.0	μA		11	9
Magnitude of Input Bias Current vs. Temperature Coefficient	$ dI_{IN+}/dT $		+0.45		nA/ $^\circ\text{C}$		11	
Output Low Voltage	V_{OL}		1.29		V			10
Output High Voltage	V_{OH}		3.80		V			10
Output Common-Mode Voltage	V_{OCM}	2.2	2.545	2.8	V			
Output Short-Circuit Current	$ I_{OSC} $		18.6		mA			11
Equivalent Input Impedance	R_{IN}		500		k Ω			
V_{OUT} Output Resistance	R_{OUT}		15		Ω			
Input DC Common-Mode Rejection Ratio	$CMRR_{IN}$		76.1		dB			12

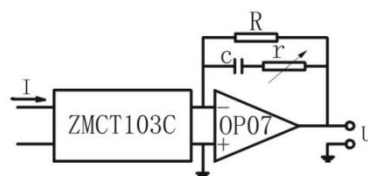
HOJA DE DATOS DEL ZMCT103

Specifications:

- Onboard precision micro current transformer.
- Onboard sampling resistor.
- Module can be measured within 5 A alternating current, the corresponding analog output 5 A/ 5 mA
- PCB board size: 18.3 (mm) x17 (mm).
- Rated Primary Current at 50/60 Hz: 5 A
- Maximum Primary Current at 50/60 Hz: 20 A
- Turns Ratio: $N_p:N_s = 1:2,500$
- Current Ratio: 5A:2mA
- Winding D.C. Resistance at 20 °C: 155 Ω
- Accuracy •@ $R_L \leq 10 \Omega$: 2%
- Operating Temperature: -40 to 85 °C
- Storage Temperature: -45 to 90 °C
- Dielectric Withstanding Voltage: 4,000 V / 1 mA / 1 sec



Schematic Diagram:



$$U = \frac{I}{1000} \cdot R$$

I: input current
R: sampling resistor
U: sampling voltage

Pin Configuration:

1. Ground pin
2. Supply pin