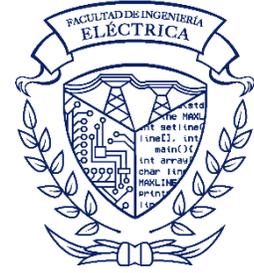




UNIVERSIDAD MICHOACANA DE  
SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS:

“SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN DE TEMPERATURA  
CON TERMOPARES Y MEDIO DE TRANSMISIÓN POR  
CORRIENTE”

PRESENTA:

SAÚL ALBERTO GONZÁLEZ EQUIHUA

PARA OBTENER EL GRADO DE:  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

ASESOR:

DR. GILBERTO GONZÁLEZ AVALOS

MORELIA, MICH.

AGOSTO 2023

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres ya que me dieron la oportunidad de llevar a cabo este logro, siempre me estuvieron apoyando durante este camino y siempre buscaron lo mejor para mí ya que ellos se esforzaron para que yo pudiera lograr concluir mi carrera profesional.

A las personas que conocí durante este camino que se convirtieron en muy buenos amigos y me acompañaron todo el tiempo durante la carrera.

Al Dr. Gilberto González Avalos quien fue de gran apoyo en la realización de este trabajo y también me brindó su confianza para trabajar juntos.

## DEDICATORIA

A mis padres:

Simón González Anguiano y María Guadalupe Equihua Rodríguez por brindarme educación desde que era pequeño y guiarme por este camino y ayudarme a concluir esta etapa de mi vida, que no hubiera sido posible por el gran esfuerzo que ellos hicieron para darme lo mejor, por los sacrificios que hicieron para que yo lograra concluir la carrera, siempre tuve su apoyo incondicionalmente y su amor.

A mi hermano:

Simón Alejandro González Equihua que fue mi guía durante los primeros pasos que tuve en este camino y me enseñó a ser responsable, comprometido e independiente.

A mi familia:

Que fueron un pilar importante para poder obtener este logro, ya que me brindaron su apoyo.

A mis amigos:

Que siempre estuvieron en el mismo camino y ayudaron a que este fuera algo agradable ya que conviviendo, los momentos difíciles se convertían en alegría.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	II
<b>DEDICATORIA</b> .....	III
<b>ÍNDICE</b> .....	IV
<b>RESUMEN</b> .....	VI
<b>ABSTRACT</b> .....	VII
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	VIII
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	IX
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1 LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA</b> .....	1
<b>1.2 OBJETIVO</b> .....	3
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN</b> .....	3
<b>1.4 METODOLOGÍA</b> .....	3
<b>1.5 CONTENIDO DE LA TESIS</b> .....	5
<b>1.5.1 CAPÍTULO 1</b> .....	5
<b>1.5.2 CAPÍTULO 2</b> .....	5
<b>1.5.3 CAPÍTULO 3</b> .....	5
<b>1.5.4 CAPÍTULO 4</b> .....	5
<b>1.5.5 CAPÍTULO 5</b> .....	5
<b>CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES DE SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN</b> .....	6
<b>2.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>2.2 IMPORTANCIA DE LA INSTRUMENTACIÓN</b> .....	7
<b>2.3 SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN</b> .....	8
<b>2.3.1 TRANSDUCTOR</b> .....	9
<b>2.3.2 ACONDICIONAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN</b> .....	11

2.3.3 LINEALIZACIÓN .....	14
2.3.4 TRANSMISIÓN.....	15
2.3.5 PRESENTACIÓN DE LA SEÑAL .....	15
2.4 TIPOS DE SENSORES .....	15
2.4.1 SENSORES DE PRESIÓN.....	16
2.4.2 SENSORES DE FLUJO .....	20
2.4.3 SENSORES DE TEMPERATURA .....	26
<b>CAPÍTULO 3 DISEÑO DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN .....</b>	<b>31</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	31
3.2 AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN .....	31
3.3 CONVERTIDOR DE VOLTAJE A VOLTAJE .....	33
3.4 CONVERTIDOR VOLTAJE A CORRIENTE .....	36
3.5 CONVERTIDOR DE CORRIENTE A VOLTAJE .....	37
<b>CAPÍTULO 4: IMPLEMENTACIÓN DE LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA CON ENLACE DE CORRIENTE .....</b>	<b>40</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	40
4.2 CARACTERIZACIÓN DEL AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN....	40
4.3 CARACTERIZACIÓN DEL ENLACE POR CORRIENTE .....	43
4.4 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA COMPLETO.....	48
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>54</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	54
5.2 RECOMENDACIONES.....	54
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>56</b>

## RESUMEN

El objetivo general del trabajo es diseñar un sistema de instrumentación de temperatura a partir de termopares y un medio de transmisión por medio de corriente, se eligieron los termopares por el gran rango de temperaturas que pueden soportar en comparación con otros sensores de temperatura.

Los termopares nos proporcionan una relación de voltaje a cada grado de temperatura debemos hacer una amplificación de esta señal para poder manipularla, lo cual se realiza con amplificadores operacionales, posteriormente se deberá realizar la caracterización del termopar para encontrar la relación voltaje-temperatura específica para posteriormente poder hacer una linealización de la medición para hacer más fácil la manipulación de esta señal, y como parte importante se realizará un convertidor de voltaje a corriente que es la parte crucial para transmitir nuestra señal a largas distancias evitando así caídas de tensión en el conductor transmisor y evitar mediciones erróneas, posteriormente para obtener la señal a visualizar se realizará un convertidor de corriente a voltaje que proporcionará la señal de voltaje que tiene la medición exacta de temperatura que obtuvo el termopar al principio del sistema, solo queda hacer la relación de voltaje-temperatura para poder ver la medición en grados Celsius.

Palabras clave: Sensor, Convertidor, Transmisión, Diseño e Implementación

## **ABSTRACT**

The general objective of the work is to design a temperature instrumentation system from thermocouples and a means of transmission by means of current, thermocouples were chosen for the wide range of temperatures that they can withstand compared to other temperature sensors.

Since thermocouples provide us with a voltage relationship at each degree of temperature, we must amplify this signal in order to manipulate it, which is done with operational amplifiers. Later, the characterization of the thermocouple must be carried out to find the specific voltage-temperature relationship for later to be able to make a linearization of the measurement to make the handling of this signal easier, and as an important part, a voltage to current converter will be made, which is the important part to transmit our signal over long distances, thus avoiding voltage drops in the conductor transmitter and avoid errors, later to obtain the signal to be displayed, a current to voltage converter will be made that will provide us with the voltage signal that has the exact temperature measurement that the thermocouple obtained at the beginning of the system.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Clasificación de transductores.....	10
--	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Proceso de un sistema de instrumentación. ....	9
Figura 2.2: Rango de medida del instrumento. ....	12
Figura 2.3: Curva de transferencia estática. ....	13
Figura 2.4: Comportamiento dinámico de un instrumento.....	14
Figura 2.5: Transductor de presión miniatura [2].....	17
Figura 2.6: Manómetro digital [2].....	18
Figura 2.7: Sensor de presión micro mecánico [2]. ....	19
Figura 2.8: Sensor de presión atmosférica. ....	20
Figura 2.9: Sensor de presión de aceite. ....	20
Figura 2.10: Sensor de presión diferencial [6]. ....	21
Figura 2.11: Sensor ultrasónico [6]. ....	22
Figura 2.12: Sensor vortex [6]. ....	23
Figura 2.13: Sensor Coriolis [6]. ....	24
Figura 2.14: Sensor electromagnético [6]. ....	25
Figura 2.15: Sensor de área variable [6]. ....	25
Figura 2.16: Sensor tipo turbina [6]. ....	26
Figura 2.17: Sensores RTD [8].....	27
Figura 2.18: Termistor [8]. ....	28
Figura 2.19: Sensor de temperatura infrarrojo. ....	29
Figura 2.20: Termopar [8]. ....	30
Figura 3.1 Amplificador de instrumentación. ....	32
Figura 3.2 Convertidor de voltaje a voltaje.....	33
Figura 3.3 Gráfica de rangos de voltaje. ....	34
Figura 3.4 Convertidor de voltaje a corriente. ....	36
Figura 3.5 Convertidor de corriente a voltaje .....	37
Figura 3.6 Gráfica de rangos de corriente de entrada y voltaje de salida. ....	38

Figura 4.1: Diagrama de caracterización del amplificador de instrumentación acoplado al convertidor de voltaje a voltaje. ....	41
Figura 4.2: Implementación del amplificador de instrumentación.....	41
Figura 4.3: Implementación del convertidor de voltaje a voltaje.....	42
Figura 4.4: Rango de temperatura al que se obtuvo 0V.....	42
Figura 4.5: Rango de temperatura al que se obtuvo 5V.....	43
Figura 4. 6: Voltaje obtenido en el rango de temperatura. ....	43
Figura 4.7: Diagrama para la caracterización del enlace por corriente. ....	44
Figura 4. 8: Implementación del convertidor de voltaje a corriente. ....	44
Figura 4.9: Medición de corriente en miliamperes obtenida a un voltaje de entrada de 5V.....	45
Figura 4.10: Medición de corriente en miliamperes obtenida a un voltaje de entrada de 2.5V.....	45
Figura 4.11: Implementación de convertidor de corriente a voltaje.....	46
Figura 4.12: Medición de voltaje obtenida a una corriente de entrada de 99.2mA. ....	47
Figura 4.13: Medición de voltaje obtenida a una corriente de entrada de 49.7mA. ....	47
Figura 4.14: Diagrama de caracterización del sistema completo .....	48
Figura 4.15: Implementación del sistema completo .....	49
Figura 4.16: Conexión a Arduino del módulo y sistema implementado.....	50
Figura 4.17: Código para obtener la medición de temperatura del sistema y compararlo con la medición del módulo .....	51
Figura 4.18: Comparación 1 entre medidas del módulo y medidas del sistema ...	52
Figura 4. 19: Comparación 2 entre medidas del módulo y medidas del sistema ..	53

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se llevará a cabo el diseño de un sistema de instrumentación de temperatura con termopares ya que la temperatura es una variable muy importante en distintas áreas y es necesario tener un buen control sobre ella ya que de esta depende el resultado final de los productos obtenidos y se realizará un medio de transmisión por corriente ya que este método nos permite transmitir la información a largas distancias sin tener una caída de tensión en el conductor del transmisor.

### 1.1 LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA

La medición de temperatura en distintos campos es sumamente importante ya que de esta depende que se puedan detectar problemas en el caso de la medición de la temperatura corporal o así mismo en la industria, por otro lado, tener una buena medición de temperatura nos permite saber con exactitud cómo se comporta un sistema y tenerlo controlado, ya que la temperatura afecta de manera directa en un gran número de procesos como lo podría ser a la comida, bebida, la salud, agricultura e industria. Por lo tanto, una determinación precisa de la temperatura es un factor importante en muchas industrias esto debido a que si no se controla correctamente la temperatura de algún proceso esta podría influir en el producto final.

Principalmente, donde se mide comúnmente la temperatura es en las siguientes áreas:

- **Comida**

En este campo el control de temperatura es una de las condiciones principales en seguridad alimentaria ya que es sumamente importante porque es imprescindible para mantener conservados los alimentos en las condiciones de frío adecuadas, así como establecer temperaturas de cocción y controlarlas, la importancia del control de la temperatura es

evitar riesgos a la salud por proliferaciones de bacterias patógenas en los alimentos [1].

- **Bebida**

En la elaboración de bebidas comunes como podría ser el vino y la cerveza la temperatura tiene un papel importante ya que de esta depende la calidad del producto final, si no se controla de manera correcta esta podría tener efectos positivos o negativos en el proceso de elaboración, ya que para elaborar estos productos se depende de la fermentación donde se tiene que mantener una temperatura controlada, por otro lado también para cualquier bebida es necesario llevar a cabo el proceso de pasteurización donde la temperatura es crucial para garantizar la eliminación de patógenos dañinos [1].

- **Salud**

En el campo de la salud la temperatura corporal juega un papel importante ya que esta se relaciona directamente con el funcionamiento del cuerpo de una persona, esta proporciona información de los procesos fisiológicos que ocurren en un organismo y así también se pueden detectar afecciones en el cuerpo como lo pueden ser infecciones, desordenes metabólicos, cardiovasculares, inflamaciones entre otras [1].

- **Agricultura**

En el campo de la agricultura es de suma importancia el control de la temperatura ya que esta puede afectar a la tasa de desarrollo de la planta y a la producción de hojas, tallos y otros componentes, ya que los procesos fisiológicos de las plantas ocurren más rápido a medida que la temperatura aumenta y si la temperatura es baja el desarrollo de la planta se vuelve más lento y si la temperatura baja demasiado puede llegar a producir un daño en los tejidos de la planta [1].

- **Industria**

Para este campo es fundamental el control de la temperatura ya que en estos procesos se transforman materias primas que necesitan estar a temperaturas determinadas para poder producir cambios, también un

óptimo control de temperatura permite identificar las ganancias o pérdidas de calor en las sustancias empleadas en un proceso con el fin de obtener los mejores resultados posibles, también permite conservar las maquinas en buen estado y funcionamiento y así poder evitar todo tipo de accidentes [1].

## **1.2 OBJETIVO**

Realizar un sistema de instrumentación de temperatura empleando termopares utilizando un medio de transmisión por corriente para evitar posibles caídas de tensión en el cable de transmisión y así obtener correctas mediciones de temperatura.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Debido a la gran importancia que tiene la medición de temperatura en cualquier tipo de proceso, se pretende diseñar un sistema de instrumentación de medición de temperatura y optimizar el medio de transmisión de la información a largas distancias, para esto se implementará el medio de transmisión por corriente, evitando así caídas de tensión debido a la longitud del conductor que llevará la información y con esto evitar mediciones erróneas.

Este tema se eligió por la gran relación que tiene con el ámbito industrial el cual es un amplio campo laboral y se pretende adquirir conocimientos de instrumentación para poder aplicarlos en el campo de la industria.

## **1.4 METODOLOGÍA**

Como sabemos la instrumentación es el conjunto de ciencias y tecnologías mediante las cuales se miden variables físicas o químicas con el objetivo de obtener información para monitorear algún proceso o en dado caso controlar el proceso.

En este caso se busca diseñar un sistema de medición para la variable que mediremos, la cual será la temperatura, pero para poder medir esta hay distintos métodos utilizando sensores de temperatura como lo pueden ser:

- RTD
- TERMOPARES
- TERMISTORES
- INFRAROJOS

Para llevar a cabo el sistema de instrumentación se eligió realizarlo mediante termopares ya que estos pueden soportar altas temperaturas y son resistentes a la intemperie.

Teniendo el sensor, ya que este cuenta con una unión de dos materiales distintos y cuando esta unión se calienta genera una diferencia de potencial en los otros dos extremos en el orden de los milivolts, para poder procesar esta diferencia y obtener un valor en milivolts que se pueda correlacionar a un nivel de temperatura se diseñó un sumador restador con amplificadores operacionales para poder obtener un dato y con esto poder caracterizar el termopar.

Después de la caracterización donde se obtendrá un rango de temperaturas bajas y altas con esto se deberá hacer un escalamiento de los valores obtenidos para que quede en un rango de 0V a 5V y con esto ya tener un voltaje relacionado a una temperatura determinada más preciso.

Ya que los rangos de voltaje son pequeños lo cual podría ocasionar pérdidas en el trayecto de transmisión, para poder transmitirlos por un conductor es necesario añadir un convertidor de voltaje a corriente para solucionar el problema de las pérdidas ya que así se podrá transmitir a mayor distancia y con buena precisión, solo quedaría poner una etapa más al otro lado del transmisor para convertir la corriente que se transmite a voltaje el cual como ya sabemos le corresponde una temperatura determinada, solo quedaría poner la última etapa de medición la cual nos daría la temperatura precisa que estamos midiendo.

## **1.5 CONTENIDO DE LA TESIS**

### **1.5.1 CAPÍTULO 1**

En este capítulo se introduce a la medición de la temperatura y la importancia que tiene esta en diversos procesos, también se determina el objetivo, justificación y metodología del presente trabajo y de describe brevemente el contenido de cada capítulo.

### **1.5.2 CAPÍTULO 2**

En este capítulo se presentan los antecedentes de los sistemas instrumentación, el cómo han ido evolucionando desde sus inicios y cómo esto ha llevado a la complejidad de los sistemas, y aun así ha conducido a un mejor desempeño en la industria.

### **1.5.3 CAPÍTULO 3**

En este capítulo se lleva a cabo la implementación del sistema de instrumentación que se dividirá en cuatro etapas, el amplificador de instrumentación, el convertidor de voltaje a voltaje, el convertidor de voltaje a corriente el cual permitirá la transmisión de la información a una distancia relativamente grande, el convertidor de corriente a voltaje el cual nos dará la señal al final de la transmisión y con esta poder presentar la información.

### **1.5.4 CAPÍTULO 4**

En este capítulo se presentan todas las etapas implementadas y su funcionamiento, así como una prueba del funcionamiento de este sistema de instrumentación de un termopar.

### **1.5.5 CAPÍTULO 5**

En este capítulo se expondrán las conclusiones del presente trabajo, así como los problemas que se hayan presentado y la solución a dichos problemas, así como recomendaciones para implementaciones futuras.

# CAPÍTULO 2

## ANTECEDENTES DE SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN

### 2.1 INTRODUCCIÓN

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos: la fabricación de los productos derivados del petróleo, de los productos alimenticios, la industria de la cerámica, las centrales generadoras de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, etc.

En todos estos procesos es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes físicas, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el PH, la conductividad, la velocidad, la humedad, el punto de rocío, etc. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más adecuadas que las que el propio operador podría realizar.

En los inicios de la era industrial, los operarios llevaban a cabo manualmente el control de estas variables utilizando solo instrumentos simples como lo eran los manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., con este control era suficiente ya que los procesos que se llevaban a cabo eran relativamente simples. Debido al constante desarrollo de los procesos estos han ido aumentando su complejidad gradualmente y con esto se ha exigido su automatización progresiva por medio de instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido facilitando el trabajo de los operarios ya que evitan su actuación física directa en la planta y con esto se ha generado una labor única de supervisión y vigilancia del proceso desde el centro de control situado en el propio proceso o bien en una sala dedicada a monitorear los procesos realizados. Gracias a los instrumentos ha sido posible fabricar

productos complejos en condiciones estables de calidad y de características, condiciones que al operario le hubieran sido imposibles o muy difíciles de conseguir haciendo un control manual.

Los instrumentos de control fueron naciendo a medida que las exigencias del proceso lo impusieron. Las necesidades de la industria fueron (y son actualmente) el motor que puso en marcha la inventiva de los fabricantes o de los propios usuarios para idear y llevar a cabo la fabricación de los instrumentos convenientes para los procesos industriales [3].

## **2.2 IMPORTANCIA DE LA INSTRUMENTACIÓN**

La instrumentación ha permitido el avance tecnológico de la ciencia actual como la automatización de los procesos industriales, ya que la automatización solo puede ser posible mediante elementos que puedan sentir o transmitir lo que sucede en el ambiente o en algún proceso, para posteriormente poder llevar a cabo una acción preprogramada que actúe sobre el sistema para obtener los resultados previstos.

La medición y el control de procesos son fundamentales para generar, en definitiva, los mejores resultados posibles en lo que toca a la utilización de recursos, máquinas, crecimiento, rentabilidad, protección medioambiental y seguridad, entre otros, en una unidad productiva [2].

La instrumentación es el grupo de equipamientos y dispositivos que sirven a los ingenieros o técnicos, justamente, para medir, convertir y registrar variables de un proceso y luego, trasmitirlas, evaluarlas y controlarlas con tales fines.

Los aparatos de medición y control de procesos industriales suelen medir características físicas (tensión, presión y fuerza, temperatura, flujo y nivel, velocidad, peso, humedad y punto de rocío) o químicas (pH y conductividad eléctrica).

La instrumentación puede formar estructuras complejas para medir, controlar y monitorear todos los elementos de un sistema industrial con profundidad y gran exactitud, además de automatizar tales procesos y, a la vez, garantizar la repetibilidad de las medidas y resultados.

Sus aparatos son aplicados a máquinas como calentadores, reactores, bombas, hornos, prensas, refrigeradores, acondicionadores, compresores y una variedad amplia de máquinas o instalaciones a partir de la supervisión de un ingeniero de instrumentación.

Los aparatos de medición son las herramientas para cuantificar los hechos físicos o químicos en unidades de medida (amperes, volts, m/s, grados centígrados, m<sup>3</sup>, litros, newton o kilogramo-fuerza, pascal-segundo, etc.) de forma apropiada para detectarlas, visualizarlas, registrarlas y, así, utilizar estas informaciones.

Las distintas mediciones siguen definiciones y especificaciones estándar sea por el Sistema Internacional (SI) o del sistema inglés en lo que se refiere a rango, alcance, exactitud, precisión, reproducibilidad, resolución, linealidad, ruido, tiempo de respuesta, masa y peso, calibración, entre otras, para que tengan validez técnica.

De ahí la importancia de la calidad de los dispositivos, así como de las pruebas periódicas de exactitud y la calibración para que los datos obtenidos en las mediciones puedan ser fiables. Es decir, de acuerdo con los estándares reconocidos por la ciencia [4].

## **2.3 SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN**

Los sistemas de instrumentación son un conjunto de dispositivos electrónicos, mecánicos, u ópticos que tienen como finalidad medir magnitudes físicas, químicas y biológicas en tiempo real y con estas monitorear los diversos procesos. Estos sistemas se utilizan en una amplia variedad de industrias y campos de aplicación, como la industria química, petroquímica, alimentaria, farmacéutica, ambiental, automotriz, entre otras.

Estos sistemas pueden estar compuestos por diversos componentes como sensores, transductores, amplificadores, convertidores de señal, pantallas de visualización, sistemas de adquisición de datos. Estos componentes deben trabajar en conjunto para adquirir, procesar y presentar la información sobre las variables medidas.

El proceso que se lleva a cabo en el sistema de instrumentación es el que se ilustra en la Figura 2.1.

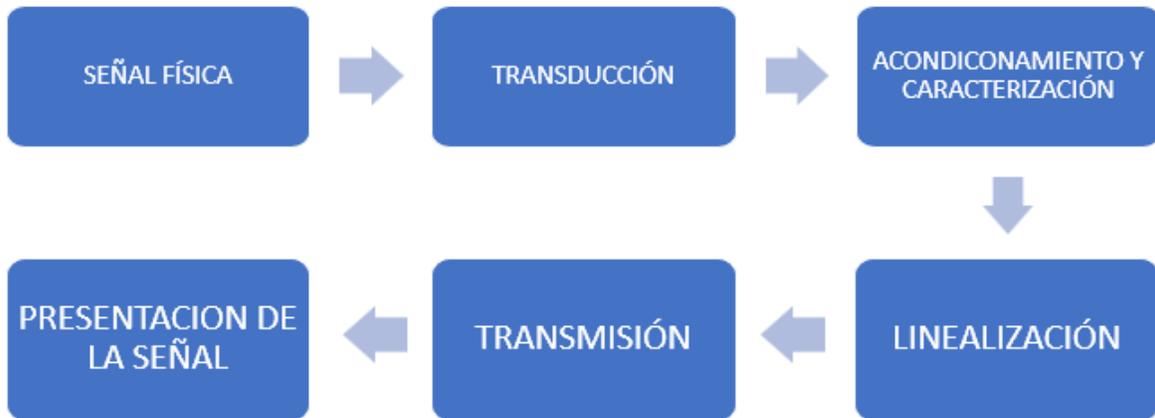


Figura 2.1: Proceso de un sistema de instrumentación.

### 2.3.1 TRANSDUCTOR

Es un dispositivo que convierte una magnitud física en otra más conveniente para los propósitos de la medida. Aunque la conversión puede ser a magnitudes de tipo mecánico (por ejemplo, desplazamiento o presión hidráulica o neumática), en la mayoría de las aplicaciones se utilizan transductores de tipo eléctrico ya que ello permite un mejor tratamiento de la información.

Los transductores se clasifican en dos grupos (Tabla 2.1).

- **Los transductores 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.
- **Los transductores 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 son utilizadas para modular la energía eléctrica procedente de una fuente que en este caso se necesita [5].

Tabla 2.1: Clasificación de transductores.

TIPO	MAGNITUD ELÉCTRICA	TIPO DE TRANSDUCTOR	MAGNITUD QUE MIDE
PASIVO	VARIACIÓN DE RESISTENCIA	POTENCIÓMETRO	DEZPLAZAMIENTO, PRESIÓN
		GALGA EXTENSIOMÉTRICA	FUERZA, PAR, DEFORMACIÓN
		TERMISTOR	TEMPERATURA
	VARIACIÓN DE INDUCTANCIA	VRT	PRESIÓN, DESPLAZAMIENTO
		LVDT	PRESIÓN, DESPLAZAMIENTO
		MAGNETOSTRICCIÓN	FUERZA, PRESIÓN, SONIDO
	VARIACIÓN DE CAPACIDAD	CAPACITATIVO(DISTANCIA)	DESPLAZAMIENTO, SONIDO
		CAPACITATIVO(DIELÉCTRICO)	POSICIÓN, ÁNGULO
		CAPACIDAD(VARIACIÓN)	NIVEL LIQUIDOS, ESPESOR
	ESPECIALES	CÉLULA HALL	FLUJO, CAMPO MAGNETICO
		CÉLULA FOTOEMISIVA	LUZ, RADIACIÓN
		CÁMARA DE IONIZACIÓN	CONTADOR DE PARTICULAS
ACTIVO	FUERZA ELECTROMOTRIZ	TERMOPAR	TEMPERATURA, FLUJO TÉRMICO
		PIEZOELÉCTRICO	VELOCIDAD, VIBRACIÓN
		CÉLULA FOTOVOLTAICA	INTENSIDAD LUMINOSA

### 2.3.2 ACONDICIONAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN

En esta parte es donde están todas las transformaciones que deben realizarse sobre las señales eléctricas que obtenemos en la salida del transductor, y que son previas al procesado para extraer la información que se mide o evalúa.

Existen dos razones por la que las señales de salida del transductor deben ser acondicionadas:

- Cuando el tipo de señal eléctrica que proporciona el transductor no es una tensión, se utiliza un convertidor desde el tipo de señal de que se trate, a tensión.

Así en transductores resistivos, es normal que se utilice un circuito puente para convertir el valor de resistencia a tensión. Cuando el transductor es de tipo capacitivo o inductivo, se suele montar como parte de un oscilador, y la magnitud de salida es una frecuencia, y debe utilizar un convertidor frecuencia/tensión.

- La señal debe ser acondicionada para incrementar la relación señal ruido hasta niveles adecuados. Este tipo de acondicionamiento implica:
  - Amplificar las señales hasta niveles que sean suficientemente superiores al nivel de ruido eléctrico aleatorio.
  - Filtrar las señales para eliminar ruidos introducidos por interferencia eléctrica.

La caracterización se realiza de forma independiente bajo dos situaciones: comportamiento estático y comportamiento dinámico.

- **Comportamiento estático**

Un sistema opera en régimen estático, si la variable que se mide permanece constante en el tiempo, o cuando en cada medida se espera para medir la salida un tiempo suficiente para que la respuesta haya alcanzado el valor final o régimen permanente. El régimen estático es útil para caracterizar el comportamiento del sistema de instrumentación cuando la magnitud que se mide varía con un espectro frecuencial que sólo contiene componentes

inferiores a la anchura de banda del equipo de medida. Los principales parámetros que se utilizan para caracterizar el comportamiento estático de un instrumento son:

Parámetros que caracterizan los límites de medida:

- **Rango de medida**

Conjunto de valores de la magnitud que se mide para los que el sistema de instrumentación proporcione una respuesta correcta. También se suele denominar rango dinámico del instrumento.



Figura 2.2: Rango de medida del instrumento.

- **Fondo de escala:** Conjunto de respuestas que proporciona el sistema de instrumentación cuando su entrada varía en el rango de medida.
- **Curva de transferencia estática:** es la curva experimental que relaciona cuantitativamente cada valor "m" dentro del rango de medida que se mide, y los valores de respuesta "q" que resultan de la medida de los mismos, habitualmente se muestra mediante una curva de calibrado que representa las respuestas del sistema a estímulos de patrones.

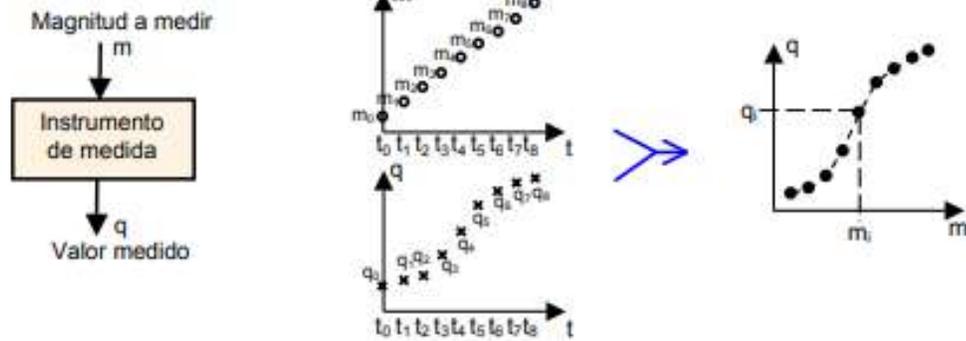


Figura 2.3: Curva de transferencia estática.

- **Comportamiento dinámico**

Caracteriza la dependencia que tiene la respuesta que se obtiene de él de la velocidad con la que la magnitud que se mide está cambiando. La caracterización dinámica completa de un sistema lineal se realiza por su diagrama de respuesta frecuencial o diagrama de Bode. Sin embargo, no es habitual utilizar un instrumento como filtro frecuencial, por lo que su caracterización suele ser más sencilla, solo se necesita caracterizar el rango de frecuencias en el que puede operar con una precisión determinada. El parámetro de caracterización dinámica más frecuente es la anchura de banda del instrumento (bandwith), que establece la frecuencia para la que la respuesta a una señal sinusoidal cae 3 dB (0.7) respecto del valor de baja frecuencia (estático). Este parámetro es muy burdo y debe ser tenido en cuenta solo a efectos de orden de magnitud [5].

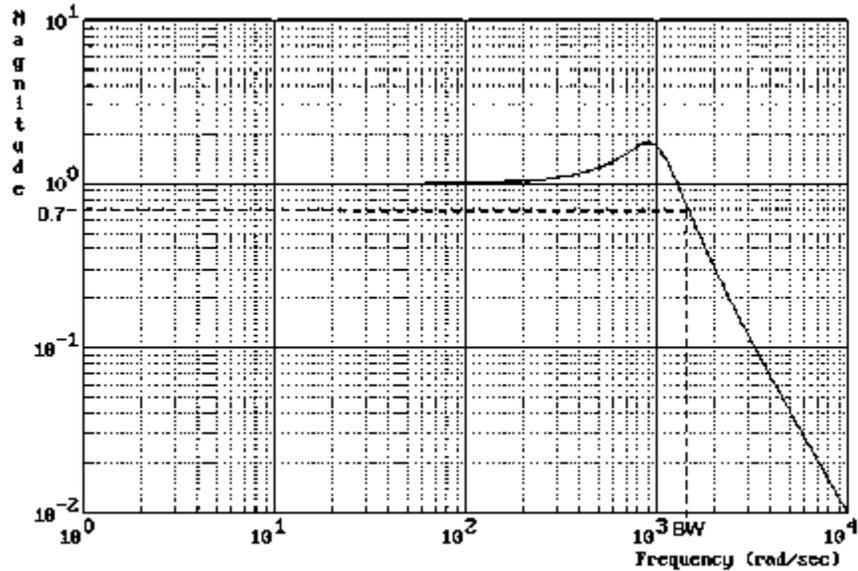


Figura 2.4: Comportamiento dinámico de un instrumento.

### 2.3.3 LINEALIZACIÓN

Este es un proceso de post-condicionamiento ya que se utiliza para conseguir una salida cuyas variaciones sean proporcionales a las variaciones de la magnitud física a medir.

La linealización se refiere al proceso de transformar una señal no lineal en una lineal. Las señales eléctricas pueden ser no lineales debido a que puede haber presencia de componentes no lineales en el circuito, la saturación del amplificador o la no linealidad del sensor.

La linealización es importante porque muchas técnicas de procesamiento de señales, como la filtración y la amplificación, asumen que la señal es lineal. Si la señal es no lineal, estas técnicas pueden introducir errores y distorsiones en la señal. La linealización de la señal eléctrica permite utilizar estas técnicas de procesamiento de señales de manera más efectiva.

Existen varias técnicas para la linealización de señales eléctricas, como el uso de circuitos lineales para compensar la no linealidad del circuito, la calibración del

sensor para reducir la no linealidad del sensor y la aplicación de técnicas de procesamiento de señales para linealizar la señal en tiempo real [5].

#### **2.3.4 TRANSMISIÓN**

La transmisión analógica utiliza una señal continua que varía con amplitud para transmitir información. Se utiliza con mayor frecuencia con señales estándar de proceso, ya sea una señal de voltaje o una señal de corriente. La señal de corriente es la más comúnmente utilizada como puede viajar la distancia más larga sin degradación y es relativamente inmune al ruido externo [4].

#### **2.3.5 PRESENTACIÓN DE LA SEÑAL**

La información resultante del proceso de medida debe ser presentada de forma comprensible al operador, o elaborada e integrada para que pueda ser interpretada por un sistema supervisor automático. Los sistemas de presentación de información eléctrica analógica tradicionales, han sido: los indicadores de aguja, los registradores gráficos de papel y los tubos de rayos catódicos. Actualmente, los terminales alfanuméricos y gráficos basados en computadores suelen ser el método más utilizado para presentar todo tipo de información [5].

### **2.4 TIPOS DE SENSORES**

Un sensor es un dispositivo para detectar y señalar una condición de cambio. Con frecuencia, una condición de cambio, se trata de la presencia o ausencia de un objeto o material (detección discreta). También puede ser una cantidad capaz de medirse, como un cambio de distancia, tamaño o color (detección analógica). Los sensores posibilitan la comunicación entre el mundo físico y los sistemas de medición y/o de control, tanto eléctricos como electrónicos, utilizándose extensivamente en todo tipo de procesos industriales y no industriales para propósitos de monitoreo, medición, control y procesamiento [2].

Al elegir un sensor se deben de tener en cuenta las siguientes características:

- **Distancia nominal de detección:** Corresponde a la distancia de operación para la que se ha diseñado un sensor, la cual se obtiene mediante criterios estandarizados en condiciones normales [2].

- **Distancia efectiva de detección:** Corresponde a la distancia de detección inicial (o de fábrica) del sensor que se logra en una aplicación instalada. Esta distancia se encuentra más o menos entre la distancia de detección nominal, que es la ideal, y la peor distancia de detección posible. Existen otros términos asociados al cálculo de la distancia nominal en los sensores los cuales son: Histéresis, Repetibilidad, Frecuencia de conmutación y Tiempo de respuesta [2].
- **Histéresis:** La histéresis, o desplazamiento diferencial, es la diferencia entre los puntos de operación (conectado) y liberación (desconectado) cuando el objeto se aleja de la cara del sensor y se expresa como un porcentaje de la distancia de detección. Sin una histéresis suficiente, el sensor de proximidad se conecta y desconecta continuamente al aplicar una vibración excesiva al objeto o al sensor, aunque se puede ajustar mediante circuitos adicionales [2].
- **Repetibilidad:** La repetibilidad es la capacidad de un sensor de detectar el mismo objeto a la misma distancia de detección nominal y se basa en una temperatura ambiental y voltaje eléctrico [2].
- **Frecuencia de conmutación:** Corresponde a la cantidad de conmutaciones por segundo que se pueden alcanzar en condiciones normales. En términos más generales, es la velocidad relativa del sensor [2].

#### 2.4.1 SENSORES DE PRESIÓN

Los sensores de presión o transductores de presión son elementos que transforman la magnitud física de presión o fuerza por unidad de superficie en otra magnitud eléctrica que será la que emplearemos en los equipos de automatización o adquisición estándar. Los rangos de medida son muy amplios, desde unas milésimas de bar hasta los miles de bar. Para cubrir los diferentes rangos de medida, precisión y protección, disponemos de una gran variedad de transductores de presión, fabricados con diferentes tecnologías, que permiten cubrir todas sus necesidades [2].

#### 2.4.1.1 TRANSDUCTORES DE PRESIÓN MINIATURA

La gama de transductores de presión miniatura y ultra miniatura ha sido diseñada con el fin de conciliar tamaño pequeño y robustez. De tecnología piezorresistiva y fibra óptica, con membranas de acero inoxidable. Resistente a líquidos y gases corrosivos. Disponible en versiones de alta temperatura (hasta 600° c) [2].

Características:

- Perfiles planos, roscados o enrasados.
- Rangos: desde 0 a 0.13 bar hasta 0 a 2.500 bar.
- Linealidad: 0.25 % a 1 %
- Ancho de banda: desde medidas estáticas hasta 1.7 MHz.
- Protección: hasta ip68.
- Diámetro del cuerpo: desde 1.27 mm, con 1 mm de espesor.

En la Figura 2.5 se muestran algunos transductores de este tipo.



Figura 2.5: Transductor de presión miniatura [2].

#### 2.4.1.2 MANÓMETROS DIGITALES

Los manómetros digitales de AEP son la solución ideal cuando se busca un transductor de presión y un visualizador sin cables, ya que, al unir el sensor y el visualizador en un solo bloque alimentado por baterías internas, permiten instalarse en cualquier punto donde se precise medir presión con unas buenas prestaciones [2], como se ilustra en la Figura 2.6.

características:

- Rangos: 0.5 hasta 2,000 bar.
- Linealidad: 0.2 % hasta el 0.05 % fs.
- Resolución: hasta 65,000 divisiones.
- Funciones: pico, cero, tara, auto apagado o filtro digital.
- Display tipo lcd (bajo consumo) o led.
- Salida analógica: 0-10V, 4-20 mA o digital rs232.



Figura 2.6: Manómetro digital [2].

#### *2.4.1.3 SENSORES DE PRESIÓN MICRO MÉCANICOS*

El sensor de presión de alimentación está montado por lo general directamente en el tubo de admisión, mide la presión absoluta en el tubo de admisión (2 a 400 kpa o 0.02 a 4 bar), o sea que mide la presión contra un vacío de referencia y no contra la presión del entorno, de este modo es posible determinar la masa de aire con toda exactitud y regular el compresor de acuerdo con las necesidades del motor. Si el sensor no está montado directamente en el tubo de admisión, este se hace comunicar neumáticamente con el tubo de admisión mediante una tubería flexible [2]. Este sensor es mostrado en la Figura 2.7.



Figura 2.7: Sensor de presión micro mecánico [2].

#### *2.4.1.4 SENSOR DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA*

Este sensor puede estar montado en la unidad de control o en otro lugar del motor, su señal sirve para la corrección, en función de la altura, de los valores teóricos para los circuitos reguladores (como ejemplo: retroalimentación de gases de escape EGR, regulación de la presión de sobrealimentación). Con ello se pueden tener en cuenta las diferencias de la densidad del aire del entorno. El sensor de presión de entorno mide la presión absoluta (60 a 115 kPa o 0.6 a 1.15 bar) [2]. Este sensor se ilustra en la Figura 2.8.

Características:

- Precisiones de medida hasta  $\pm 0.01\%FS$ .
- Protección IP68 para condiciones extremas.
- Distintas opciones de montaje (en pared, con rosca mecánica).
- Salidas eléctricas configurables (4 a 20mA, 0 a 10V, mV, digital, etc.).
- Sensores bajo coste (aplicaciones OEM).
- Elevada estabilidad en el tiempo.



Figura 2.8: Sensor de presión atmosférica.

#### 2.4.1.5 SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE

Los sensores de presión de aceite están montados en el filtro de aceite y miden la presión absoluta del aceite para que se pueda averiguar la carga del motor para la indicación de servicio. Su margen de presiones se sitúa en 50 a 1000 kPa o 0.5 a 10 bar [2], El cual se ilustra en la Figura 2.9.



Figura 2.9: Sensor de presión de aceite.

#### 2.4.2 SENSORES DE FLUJO

Los medidores de flujo son instrumentos que controlan, miden o registran la tasa de flujo, el volumen o la masa de un gas o líquido. También es posible que los conozca como contadores de flujo, indicadores de flujo, medidores de líquido o sensores de tasa de flujo. Los medidores de flujo aportan un control y/o monitoreo preciso de lo

que pasa por un caño o una tubería, incluyendo agua, aire, vapor, aceite, gases y otros líquidos [6].

#### 2.4.2.1 SENSOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL (DP)

Los medidores de presión diferencial miden el flujo de líquido dentro de una tubería introduciendo una constricción que cree una caída de presión. Los sensores de presión miden la presión antes y después de la constricción. La caída de presión resultante que se produce a lo largo de la constricción es relativa a la tasa de flujo al cuadrado; mientras mayor sea la caída de presión, mayor es la tasa de flujo, este sensor se ilustra en la Figura 2.10.

Los medidores de presión diferencial son adecuados para aplicaciones que incluyen filtros, intercambiadores de calor, dispositivos de prevención de reflujo, tuberías y conductos, entre otros. Una razón clave por la que los gestores de las instalaciones prefieren los medidores DP se debe a que no tienen partes móviles, lo que significa que requieren un mantenimiento mínimo [6].



Figura 2.10: Sensor de presión diferencial [6].

#### 2.4.2.2 SENSOR ULTRASÓNICO

Los medidores ultrasónicos miden la velocidad del fluido que fluye a través de la tubería. Las dos formas para hacer esto son por tiempo de tránsito o tecnología **Doppler**. La tecnología **Doppler** mide la diferencia de frecuencia de las ondas sonoras reflejadas por las burbujas de gas o las partículas en la corriente de flujo. Es adecuada para líquidos aireados o sucios. La tecnología de tiempo de tránsito mide el diferencial de tiempo entre las señales que se envían aguas arriba y aguas abajo. El diferencial es directamente proporcional a la velocidad del agua.

Los medidores ultrasónicos a menudo se eligen por su precisión excepcional, mantenimiento mínimo y bajo costo de propiedad. Los medidores ultrasónicos de pinza ofrecen soluciones no invasivas y una instalación sencilla, ya que no es necesario cortar la tubería ni interrumpir el servicio [6]. Este sensor se ilustra en la Figura 2.11.



Figura 2.11: Sensor ultrasónico [6].

#### 2.4.2.3 SENSOR VORTEX

Los medidores vortex emplean un principio llamado efecto **Von Kármán** para medir líquidos, gases y vapores. Los medidores vortex miden colocando una obstrucción (llamada barra de vertido) en la trayectoria del flujo, lo que crea vórtices de presión diferencial alterna. Estos vórtices hacen que un pequeño dispositivo sensorial oscile con una frecuencia directamente proporcional a la velocidad del fluido en movimiento. A continuación, el elemento sensor convierte la tasa de oscilación en una señal eléctrica, que se convierte en una lectura cuantificable de la velocidad. Los medidores vortex son una opción popular debido a su extensa capacidad de rango, repetibilidad y precisión en la medición de líquidos, gases y vapor saturado [6]. Este sensor es ilustrado en la Figura 2.12.



Figura 2.12: Sensor vortex [6].

#### 2.4.2.4 SENSOR CORIOLIS

Los medidores **Coriolis** miden el flujo de masa y la densidad a través de la inercia, el cual se ilustra en la Figura 2.13. El medidor de flujo abierto y sin obstrucciones identifica la tasa de flujo midiendo directamente la masa del fluido en un amplio rango de temperaturas con un alto grado de precisión. A medida que el fluido fluye a través de los tubos sensores, las fuerzas inducidas por el flujo de masa hacen que los tubos se retuerzan, lo cual es proporcional a la masa. Los medidores Coriolis son reconocidos por su impresionante precisión, facilidad de instalación y habilidad para medir tanto el flujo másico como la densidad [6].



Figura 2.13: Sensor Coriolis [6].

#### 2.4.2.5 SENSOR ELECTROMAGNÉTICO

Los medidores electromagnéticos funcionan bajo la Ley de **Faraday**, también conocida como la Ley de inducción electromagnética, para medir la velocidad del líquido. Según la ley, un conductor que se mueve por medio de un campo magnético produce una señal eléctrica dentro del conductor, la cual es directamente proporcional a la velocidad del agua que se mueve por el campo. A medida que el fluido fluye a través del campo magnético, las partículas conductoras del fluido crean cambios de voltaje a lo largo del campo magnético. Así se mide y calcula la velocidad del flujo de agua que pasa por la tubería.

Ya que los medidores electromagnéticos no tienen partes móviles, son una opción ideal para aplicaciones de aguas residuales o cualquier líquido sucio que sea conductor o a base de agua. Los beneficios de los medidores electromagnéticos incluyen mantenimiento mínimo, amplias reducciones y compatibilidad con productos químicos corrosivos, al igual que la capacidad de satisfacer los requisitos sanitarios para aplicaciones alimentarias [6]. Un sensor de este tipo se ilustra en la Figura 2.14.



Figura 2.14: Sensor electromagnético [6].

#### 2.4.2.6 SENSOR DE ÁREA VARIABLE

Los medidores de área variable miden el flujo volumétrico de líquidos y gases. Se coloca un orificio dentro del conjunto de pistón y se forma una abertura anular con el cono de medición contorneado, tal como se ilustra en la Figura 2.15. El conjunto de pistón lleva un imán cilíndrico de cerámica que está acoplado a un indicador de flujo externo que se mueve con precisión en respuesta directa al movimiento del pistón. Un resorte calibrado se opone al flujo en dirección hacia adelante, disminuyendo la sensibilidad a la viscosidad. Los beneficios clave de los medidores de área variable incluyen que son de bajo costo, fáciles de operar y mantener, y no necesitan componentes electrónicos para fines de lectura [6].



Figura 2.15: Sensor de área variable [6].

#### 2.4.2.7 SENSOR TIPO TURBINA

Los medidores tipo turbina aprovechan la energía mecánica de un líquido para hacer girar un rotor en la corriente de flujo. La velocidad de rotación del rotor es directamente proporcional a la velocidad del fluido que pasa por el medidor. Los medidores tipo turbina miden la velocidad de líquidos, gases y vapores de manera confiable, y a menudo se escogen por estos beneficios clave: estructura de medidor duradera, rango de alta precisión a bajo costo y repetibilidad notable bajo un amplio rango de temperaturas y presiones [6]. Un sensor de este tipo se ilustra en la Figura 2.16.



Figura 2.16: Sensor tipo turbina [6].

#### 2.4.3 SENSORES DE TEMPERATURA

Los sensores de temperatura son componentes eléctricos y electrónicos que, en calidad de sensores, permiten medir la temperatura mediante una señal eléctrica determinada. Dicha señal puede enviarse directamente o mediante el cambio de la resistencia. También se denominan sensores de calor o termo sensores. Un sensor de temperatura se usa, entre otras aplicaciones, para el control de circuitos. Los sensores de temperatura también se llaman sensores de calor, detectores de calor o sondas térmicas [7].

#### 2.4.3.1 *SENSORES RTD*

Este tipo de sensor basa su funcionamiento en la resistencia a la temperatura del material del que está compuesto. Su estructura general se suele componer de un alambre bien enrollado con un núcleo de vidrio o cerámica a su alrededor o cerámica estratificada.

Estos sensores de temperatura están especialmente indicados para la medición en entornos industriales, gracias a su inmunidad ante el ruido eléctrico. Entre los principales materiales con los que se suelen construir, se encuentran el platino y el níquel.

Estos sensores RTD se montan en el interior de distintas construcciones metálicas o plásticas a medida de cada máquina [8], tal como se muestra en la Figura 2.17.



Figura 2.17: Sensores RTD [8].

#### 2.4.3.2 *TERMISTORES NTC Y PTC*

Dentro de los tipos de sensores de temperatura, los termistores destacan por su funcionamiento. Y es que están compuestos de materiales semiconductores cuya resistencia a la temperatura varía dependiendo de los grados de la misma. Sus electrodos internos detectan el calor, midiéndolo por impulsos eléctricos [8].

El control de temperatura con termistor también presenta variantes. Así, podremos encontrar los siguientes tipos de termistor según su funcionamiento:

- **Termistor NTC.** La utilización de un sensor de temperatura NTC está especialmente indicada en amplios rangos de temperaturas. A más

temperatura, menos resistencia. Suelen estar hechos de magnesio, cobre, níquel o cobalto, un sensor de este tipo se ilustra en la Figura 2.18.

- **Termistor PTC.** Estos sensores están indicados para cambios drásticos en la resistencia y la temperatura que se desea controlar. En este caso, a mayor temperatura, mayor será la resistencia. Están contruidos principalmente en titanio de bario.

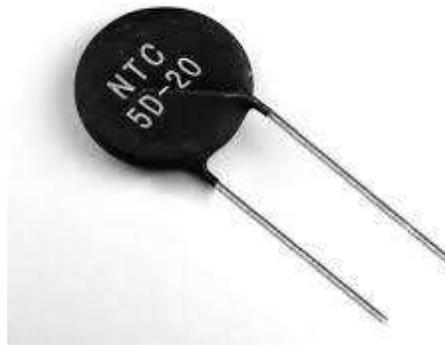


Figura 2.18: Termistor [8].

#### *2.4.3.3 SENSOR DE TEMPERATURA INFRARROJO*

Un sensor de temperatura infrarrojo es un dispositivo que mide la temperatura de un objeto sin necesidad de hacer contacto directo con él. Estos sensores detectan la radiación infrarroja emitida por el objeto y la utilizan para determinar su temperatura, como se muestra en la Figura 2.19.

Los sensores de temperatura infrarrojos son muy útiles en aplicaciones en las que la medición de la temperatura sin contacto es importante, como en la fabricación de semiconductores, la detección de incendios, el control de procesos industriales y la medición de la temperatura corporal en la industria médica [8].



Figura 2.19: Sensor de temperatura infrarrojo.

#### 2.4.3.4 TERMOPARES

Son sensores de temperatura eléctricos utilizados en la zona industrial. Para hacerlos funcionar, se debe hacer con dos alambres de distinto material unidos en un extremo, entonces al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (milivolts) el cual va aumentando a la par con la temperatura [8], como se ilustra en la Figura 2.20.

- Son encapsulados, para protegerlos de las condiciones extremas.
- Dependiendo de la distancia, se va dando una pequeña señal eléctrica de estos transductores.
- Deben utilizarse cables compensados para que pueda transportar esta señal sin que la modifique.

TIPOS.

**Tipo K:** (Cromo/Aluminio) tiene una amplia variedad de aplicaciones, con un rango de temperatura de (-200°C a +1,200°C) y una sensibilidad 41  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  aprox.

**Tipo E:** (Cromo/Constantán) No son magnéticos, son ideales para el uso en bajas temperaturas (Frío), y una sensibilidad de 68  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  aprox.

**Tipo J:** (Hierro/Constantán) Tiene un rango limitado, y tienen un rango de temperatura de (-40°C a +750°C).

**Tipo N:** (Nicrosil / Nisil) Es adecuado para mediciones de alta temperatura, gracias a su estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, y tiene una baja sensibilidad  $10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  aprox.

**Tipo B:** (Platino/Rodio) Son adecuados para altas temperaturas superiores a  $1,800^\circ\text{C}$ .

**Tipo R:** (Platino/Rodio) Son adecuados para altas temperaturas de hasta  $1,600^\circ\text{C}$ . Aunque tiene una baja sensibilidad  $10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  aprox.

**Tipo S:** (Hierro/Constantán) Ideal para de altas temperaturas hasta los  $1,600^\circ\text{C}$ , pero tiene una baja sensibilidad  $10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . Tiene una elevada estabilidad.



Figura 2.20: Termopar [8].

# **CAPÍTULO 3**

## **DISEÑO DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN**

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se llevará a cabo el diseño de todo el sistema de instrumentación necesario para alcanzar el objetivo de la tesis, principalmente el sistema de instrumentación se realizará mediante amplificadores operacionales LM741, los cálculos de cada componente de cada etapa estarán explicados a detalle en el transcurso del capítulo presente.

### **3.2 AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN**

Es necesario poner una etapa de amplificación ya que el voltaje que se obtiene de los termopares, es el orden de los milivolts (dependiendo del tipo de termopar) y con estos niveles de voltaje llega a ser difícil manipularlos ya que son muy propensos a contaminarse con ruido.

En esta parte es donde se hace la caracterización del termopar ya que se obtiene un rango a temperaturas determinadas, en este caso una “alta” y otra “baja”, donde se toma la medición de cada una de estas a la cual le corresponde un voltaje que será necesario para la siguiente etapa.

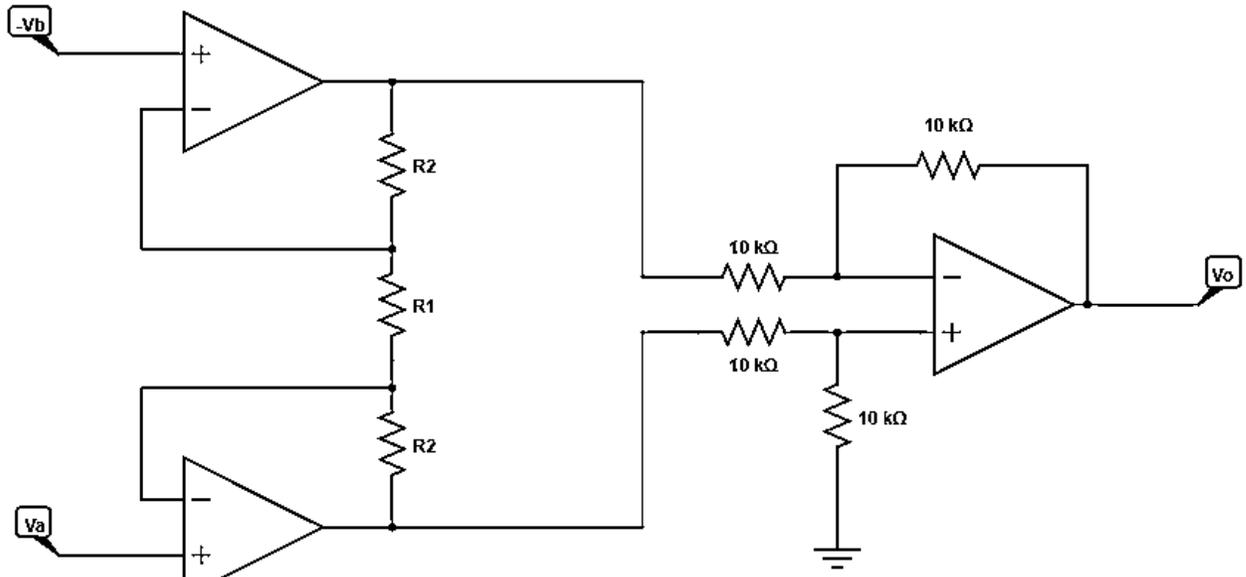


Figura 3.1 Amplificador de instrumentación.

De la Figura 3.1 en la primera etapa se tiene el circuito amplificador, el cual amplifica los voltajes obtenidos de las dos terminales del termopar +Va y -Vb y en la segunda etapa se tiene un circuito diferenciador que hace la operación  $V_a - V_b$ .

Se tiene la siguiente ecuación para la salida del circuito.

$$V_o = G(V_a - V_b) \quad (3.1)$$

Donde:

$V_a$  y  $V_b$  = Voltaje en terminales del termopar.

G= Ganancia del circuito.

La ganancia del circuito está definida por la siguiente ecuación.

$$G = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \quad (3.2)$$

Para tener un voltaje que no sea muy pequeño y no se contamine se requiere obtener una ganancia de 1000. A partir de la ecuación (3.2).

Proponiendo  $R_2=100\text{k}\Omega$

$$1000 = \left(1 + \frac{2(100k\Omega)}{R_1}\right)$$

Despejando  $R_1$  obtiene su valor:

$$R_1 = \frac{200k\Omega}{999} \approx 200\Omega$$

### 3.3 CONVERTIDOR DE VOLTAJE A VOLTAJE

Debido a los voltajes obtenidos en la caracterización es necesario convertir ese rango, después de haber hecho dicha caracterización se obtuvo una relación de  $0^\circ \rightarrow -1.12V$  y a  $300^\circ \rightarrow 4.76V$ . Este voltaje se va a convertir a uno que se pueda manipular de mejor manera en este caso de busca convertirlo a la escala de  $0V-5V$ .

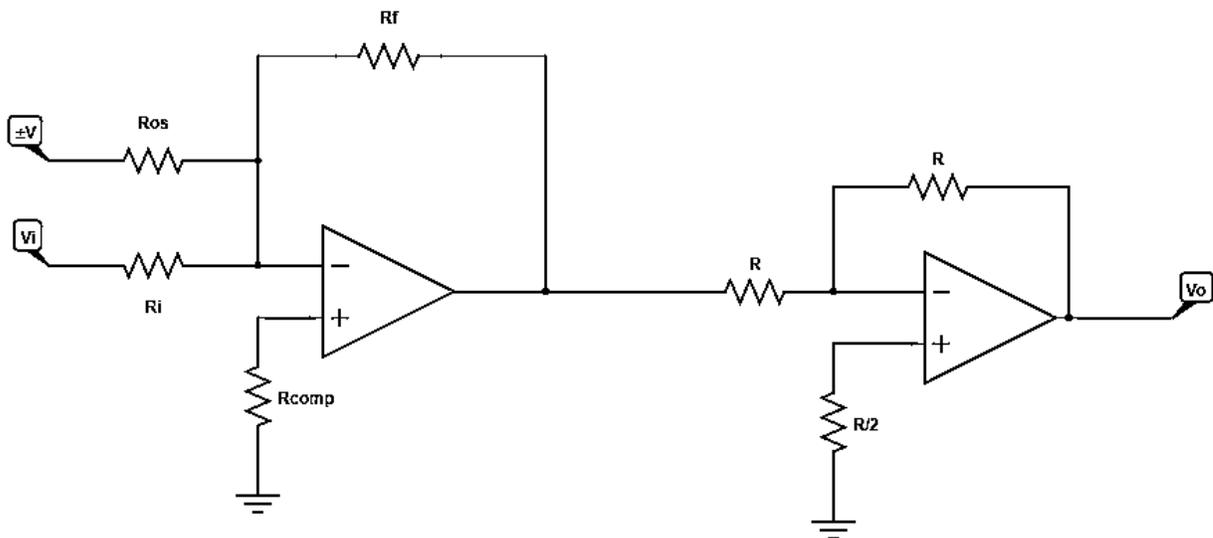


Figura 3.2 Convertidor de voltaje a voltaje.

La ecuación que define al circuito convertidor de voltaje a voltaje es la siguiente:

$$V_o = \left(\frac{R_f}{R_i}\right) V_i + \left(\frac{R_f}{R_{os}}\right) (\mp V) \quad (3.3)$$

Se interpretará de la siguiente manera:

$$V_o = mV_i + b \quad (3.4)$$

De esta ecuación debemos encontrar la pendiente “m” y la ordenada al origen “b” de la siguiente manera.

$$m = \frac{R_f}{R_i} \quad (3.5)$$

$$b = \left(\frac{R_f}{R_{os}}\right) (\mp V) \quad (3.6)$$

Para obtener m debemos tener en cuenta la gráfica de la Figura 3.3. para obtener los valores a utilizar.

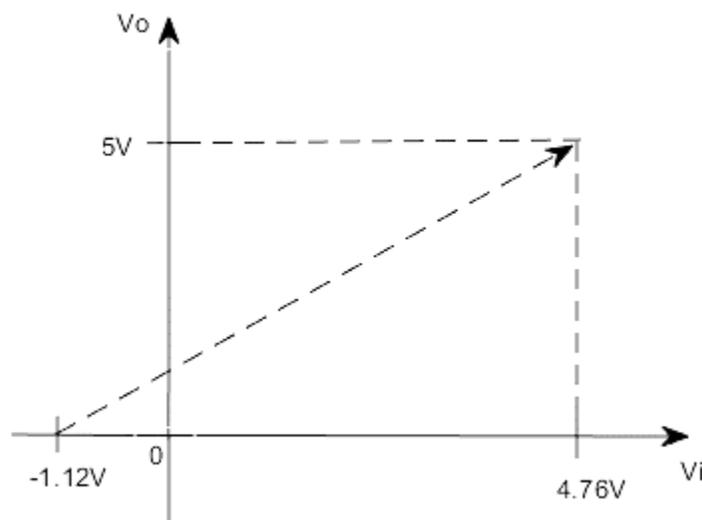


Figura 3.3 Gráfica de rangos de voltaje.

De la siguiente gráfica obtenemos:

$$V_{i1} = -1.12V \quad V_{o1} = 0V$$

$$V_{i2} = 4.76V \quad V_{o2} = 5V$$

$$m = \frac{V_{o2} - V_{o1}}{V_{i2} - V_{i1}} \quad (3.7)$$

$$m = \frac{5 - 0}{4.76 - (-1.12)} = 0.85$$

Teniendo ya calculada la pendiente “m”, de la ecuación (3.5) se tiene lo siguiente

Con una propuesta de  $R_f = 2k\Omega$ , despejamos y obtenemos  $R_i$

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

$$R_i = \frac{2k\Omega}{0.85} = 2352\Omega \approx 2.2k\Omega$$

Para obtener b con las siguientes ecuaciones.

$$b = V_{o2} - mV_{i2} \quad (3.8)$$

$$b = V_{o1} - mV_{i1} \quad (3.9)$$

Para obtener b se utiliza la ecuación (3.8),

$$b = 5 - (0.85)(4.76) = 0.954$$

Ahora ya con b obtenida calculamos la  $R_{os}$  a partir de la ecuación (3.6),

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

Donde  $\bar{\nabla}V$  es una fuente que se debe agregar al circuito en este caso la fuente seleccionada fue de 5V.

$$R_{os} = \frac{(2k\Omega)(5v)}{0.954} = 10482\Omega \approx 10k\Omega$$

Por último, teniendo  $R_f$ ,  $R_i$  y  $R_{os}$ , se calcula la resistencia de compensación  $R_{comp}$

$$R_{comp} = R_f // R_i // R_{os} \quad (3.10)$$

$$R_{comp} = \frac{1}{\frac{1}{2k\Omega} + \frac{1}{2.2k\Omega} + \frac{1}{10k\Omega}} = 948\Omega \approx 1k\Omega$$

La ecuación del voltaje de salida queda definido por la siguiente ecuación.

$$V_o = 0.85V_i + 0.954 \quad (3.11)$$

### 3.4 CONVERTIDOR VOLTAJE A CORRIENTE

En esta etapa se hace la conversión de voltaje a corriente de la etapa anterior que se definió de 0V a 5V, el cual se va a transformar a un rango de 0 a 100mA, lo cual es necesario para poder transmitir nuestra señal a una distancia relativamente grande sin tener pérdidas en el transcurso de la transmisión.

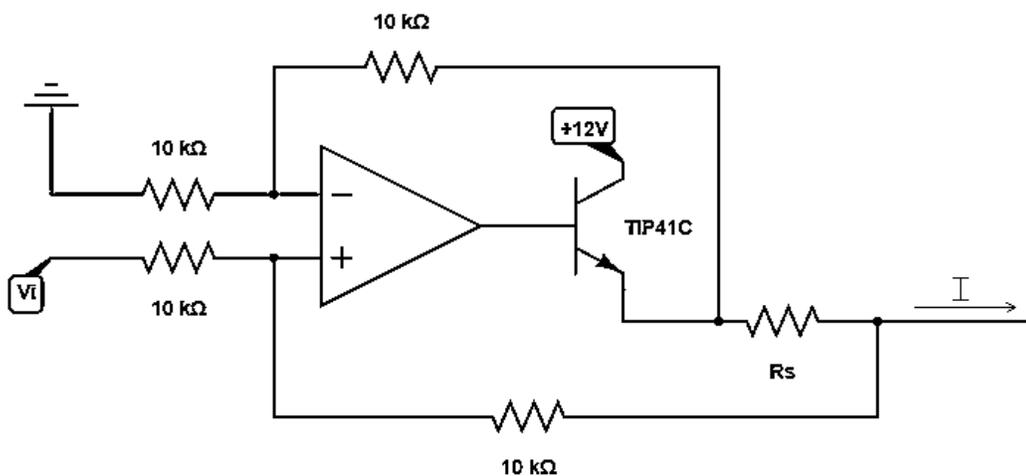


Figura 3.4 Convertidor de voltaje a corriente.

Para este circuito solo es necesario calcular la resistencia  $R_s$ , del circuito la corriente necesaria será proporcionada por la fuente y manejada por el transistor.

$$R_s = \frac{V}{I} = \frac{5V}{100mA} = 50 \Omega$$

### 3.5 CONVERTIDOR DE CORRIENTE A VOLTAJE

Al circuito de la Figura 3.5 le entra la corriente generada en la etapa anterior que ya que la corriente de entrada es 0, en la resistencia  $R_L$  se genera el voltaje para la entrada del amplificador, más adelante se realizan los cálculos de los componentes del circuito.

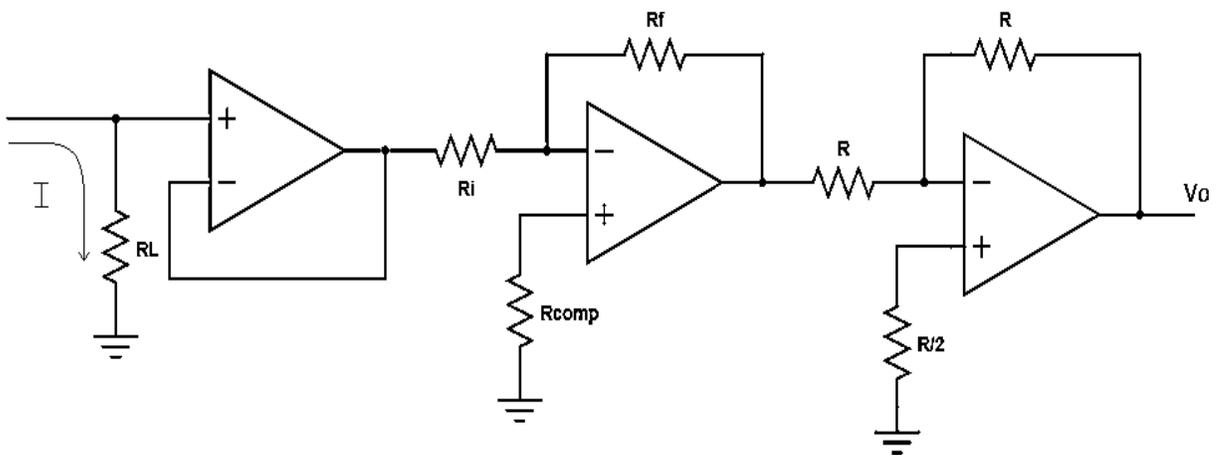


Figura 3.5 Convertidor de corriente a voltaje

$$V_o = \left(\frac{R_f}{R_i}\right) R_L I + \left(\frac{R_f}{R_{os}}\right) (\mp V) \quad (3.12)$$

$$V_o = \left(\frac{R_f}{R_i} R_L\right) I + \left(\frac{R_f}{R_{os}}\right) (\mp V) \quad (3.13)$$

$$V_o = mI + b \quad (3.14)$$

$$m = \frac{R_f}{R_i} R_L \quad (3.15)$$

$$b = \left( \frac{R_f}{R_{os}} \right) (\mp V) \quad (3.16)$$

La relación de corriente de entrada y voltaje de salida se observa de mejor manera en la gráfica de la Figura 3.6.

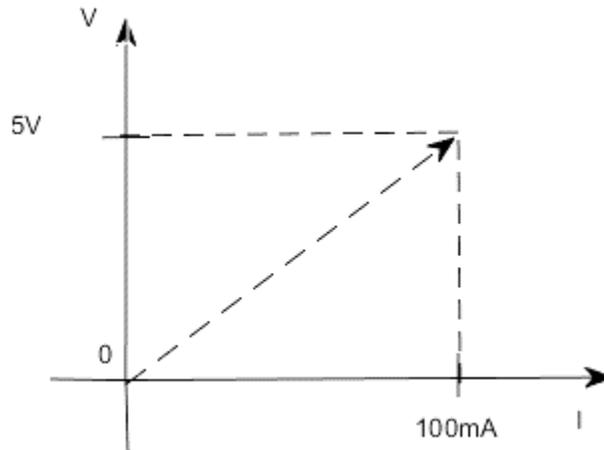


Figura 3.6 Gráfica de rangos de corriente de entrada y voltaje de salida.

De la gráfica de la Figura 3.6. podemos obtener los siguientes valores para obtener la pendiente de la recta generada por los puntos

$$I_1=0 \rightarrow V_1=0$$

$$I_2=100mA \rightarrow V_2=5V$$

De la ecuación (3.7) calculamos la pendiente m

$$m = \frac{5 - 0}{100mA - 0} = \frac{5}{0.1} = 50$$

De la Figura 3.6 podemos observar que  $b=0$  ya que el cruce se da en 0.

De la ecuación (3.13) determinamos que:

$$V_o = 50I$$

Ahora para calcular los valores de los componentes del circuito tenemos que de la ecuación (3.15):

Se proponen valores de:

$$R_f = 100\text{k}\Omega$$

$$R_i = 10\text{k}\Omega$$

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

Despejando  $R_L$  se tiene el siguiente valor:

$$R_L = \frac{m}{R_f/R_i} = \frac{50}{10} = 5\Omega$$

La  $R_{comp}$  se calcula a partir de la siguiente ecuación

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

$$R_{comp} = \frac{1}{\frac{1}{2.2\text{k}\Omega} + \frac{1}{2\text{k}\Omega}} = 1047\Omega \approx 1\text{k}\Omega$$

# **CAPÍTULO 4:**

## **IMPLEMENTACIÓN DE LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA CON ENLACE DE CORRIENTE**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se llevará a cabo la implementación de los circuitos diseñados en el capítulo anterior los amplificadores operacionales que se usan son los LM741, en este capítulo se evaluará el funcionamiento de la etapa de amplificación y de transmisión, posteriormente se acoplarán las dos etapas y se probará el sistema completo para ver los resultados de la medición de temperatura.

### **4.2 CARACTERIZACIÓN DEL AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN**

Primero, se realizó una caracterización individual del termopar con el amplificador de instrumentación para obtener rangos de voltaje relacionados a la temperatura aplicada al mismo, del cual se obtuvieron las siguientes mediciones:

Para un rango de temperatura bajo próximo a  $0^{\circ}\text{C}$  se obtuvo un voltaje de  $-1.12\text{V}$  y para la medición alta de aproximadamente  $300^{\circ}\text{C}$  se obtuvo un voltaje de  $4.76\text{V}$ , ya que las mediciones no eran exactas se tuvieron que repetir en varias ocasiones para de estas mediciones sacar un promedio y reducir el error.

Posteriormente, se realizó la caracterización del amplificador de instrumentación acoplado al convertidor de voltaje a voltaje el cual se diseñó para a partir de la caracterización del termopar obtener un voltaje a la salida del convertidor un voltaje de  $0\text{V}$  a  $5\text{V}$ .

En la Figura 4.1 se muestra el diagrama de monitoreo del voltaje de un termopar.

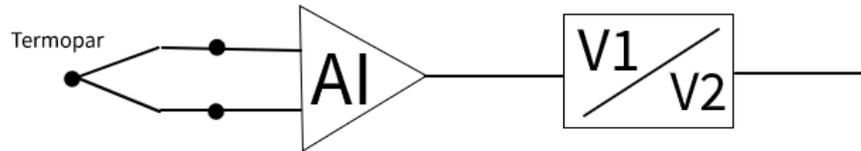


Figura 4.1: Diagrama de caracterización del amplificador de instrumentación acoplado al convertidor de voltaje a voltaje.

Ahora muestra la implementación del amplificador de instrumentación y del convertidor de voltaje a voltaje, que se muestra en la Figura 4.2 y Figura 4.3.

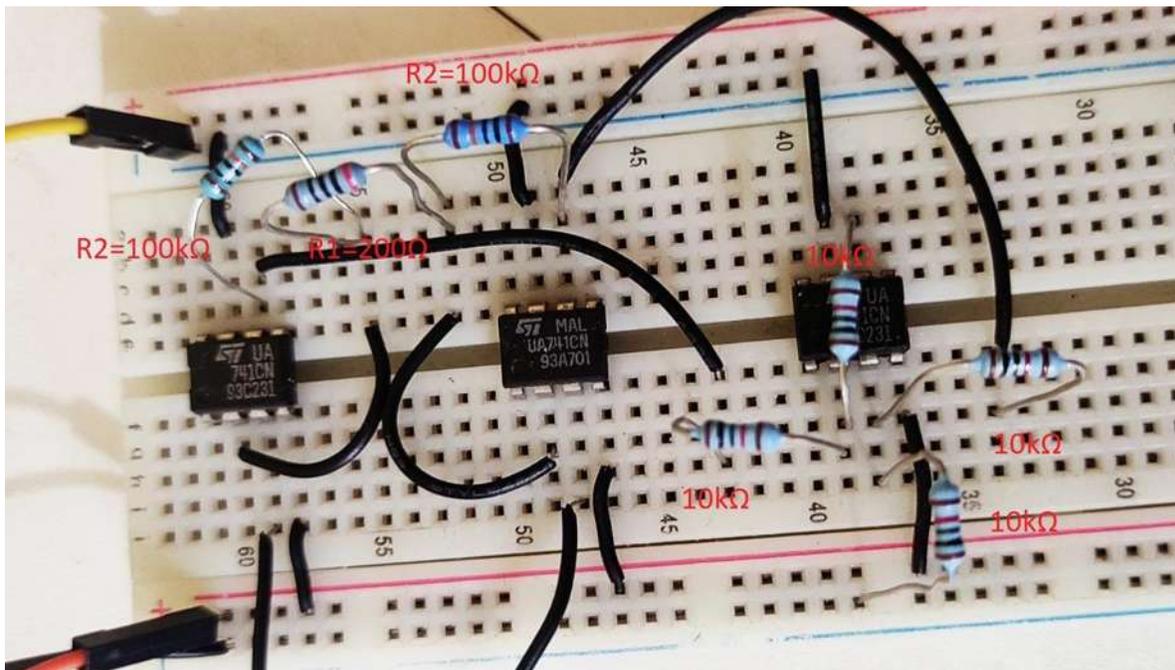


Figura 4.2: Implementación del amplificador de instrumentación.

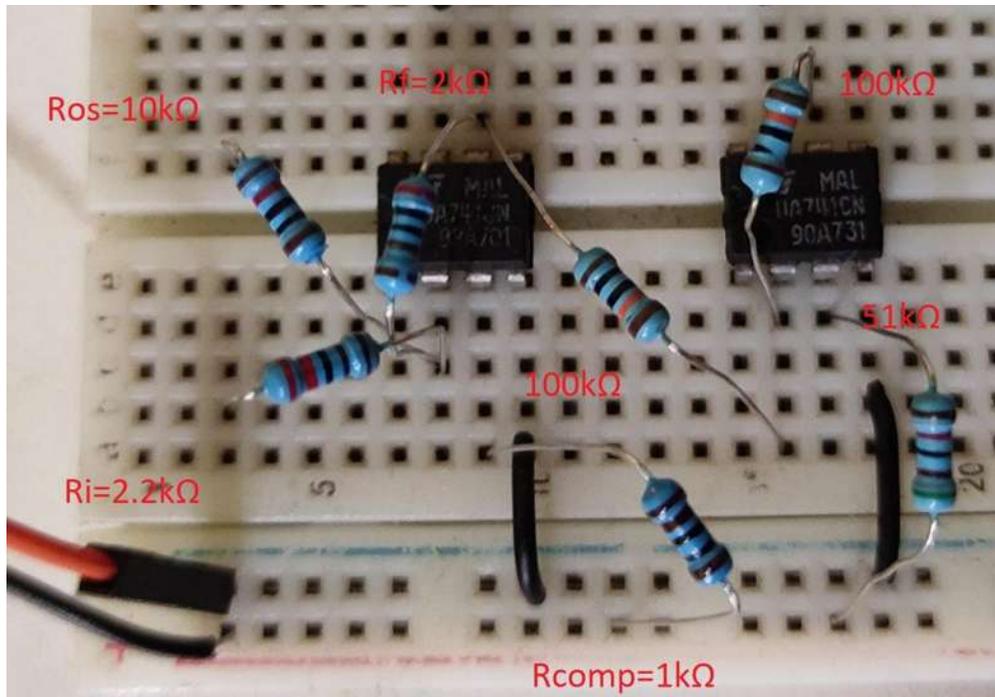


Figura 4.3: Implementación del convertidor de voltaje a voltaje.

Ya implementados los circuitos se procedió a caracterizar como se indica en la Figura 4.2.

Primero se obtuvo la caracterización de las medidas a baja temperatura para esto se obtuvieron 0V a una temperatura de aproximadamente 10°C.

Grados °C	= 11.25
Grados °C	= 10.50
Grados °C	= 10.25
Grados °C	= 10.25
Grados °C	= 10.00
Grados °C	= 9.75
Grados °C	= 9.00
Grados °C	= 9.75
Grados °C	= 9.75

Figura 4.4: Rango de temperatura al que se obtuvo 0V.

En la Figura 4.4 se observa el rango de temperatura en el cual el voltaje cayó a 0V.

Después se obtuvo la caracterización de las medidas a alta temperatura de lo cual se obtuvieron los siguientes valores 5V a partir de una medida de aproximadamente 245°C, que se indican en la Figura 4.5.

Para esta medición se aproxima a 245°C ya que fueron los valores visualizados a de temperatura en el momento en que se obtuvieron los 5V a la salida del circuito.

```
Grados °C = 247.50
Grados °C = 246.50
Grados °C = 245.25
Grados °C = 245.00
Grados °C = 243.75
Grados °C = 243.00
Grados °C = 242.50
Grados °C = 241.00
Grados °C = 240.75
```

Figura 4.5: Rango de temperatura al que se obtuvo 5V.



Figura 4. 6: Voltaje obtenido en el rango de temperatura.

Con esto tenemos que, a la salida del convertidor de voltaje a voltaje, cuando se obtienen 0V se tiene una temperatura de 10°C y cuando se obtienen los 5V en su salida se tiene una temperatura de 245°C.

### 4.3 CARACTERIZACIÓN DEL ENLACE POR CORRIENTE

Para esta parte se llevará a cabo la caracterización del enlace por corriente que consta del convertidor de voltaje a corriente, donde se espera que a una entrada de 5V se obtenga una corriente de 100mA, para posteriormente esta corriente entre a un convertidor de corriente a voltaje en el cual al ingresarle dicha corriente se obtenga una salida de 5V la cual será manipulada para obtener la medición de temperatura.

Esta caracterización se representa mediante la Figura 4.7.

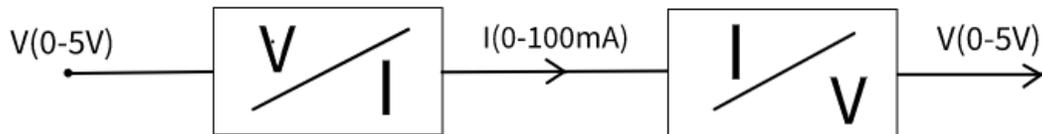


Figura 4.7: Diagrama para la caracterización del enlace por corriente.

Como primer paso se implementó el convertidor de voltaje a corriente y el convertidor de corriente a voltaje, que se ilustra en la Figura 4.8.

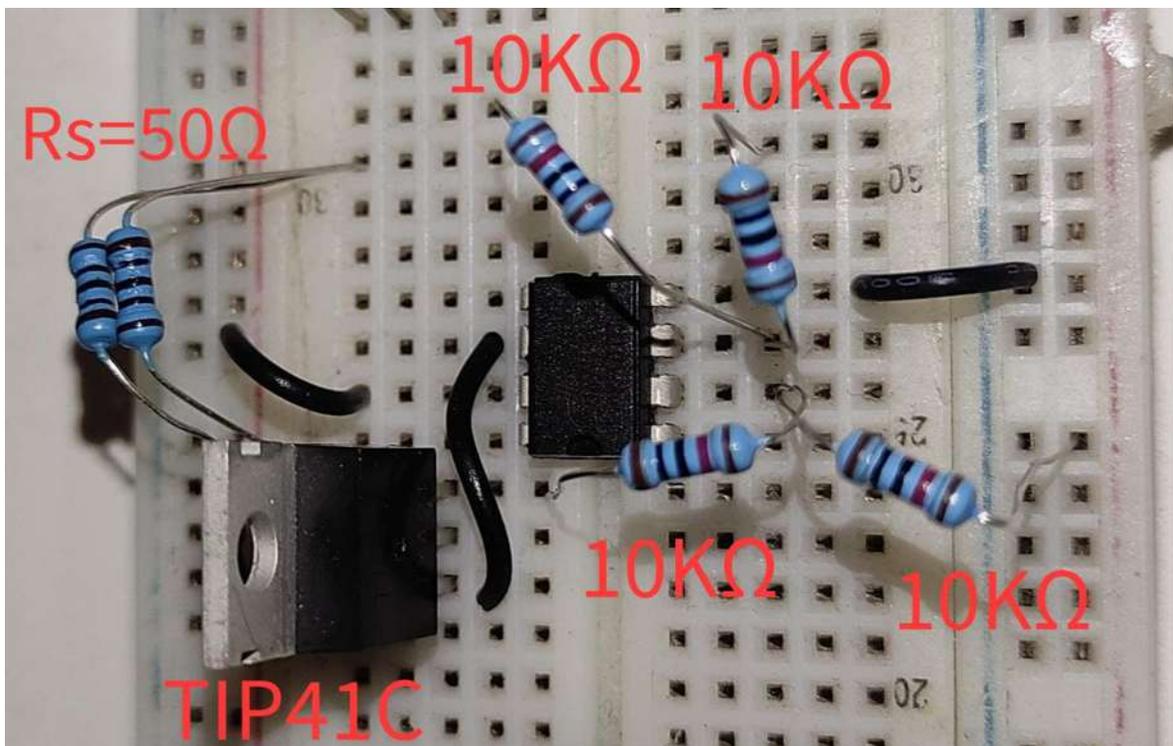


Figura 4.8: Implementación del convertidor de voltaje a corriente.

Para caracterizarlo se realizaron tres medidas, al cual se le aplicó a la entrada un voltaje de 5V, 2.5V y 0V.

- Voltaje de entrada 5V

Al aplicar el voltaje de 5V a la salida se espera una medida de corriente de 100mA, la medida obtenida fue la mostrada en la Figura 4.9.



Figura 4.9: Medición de corriente en miliamperes obtenida a un voltaje de entrada de 5V.

Se obtuvieron 99.2mA una buena medida ya que es bastante próximo a 100mA

- Voltaje de entrada 2.5V

Ya que se aplica la mitad del voltaje máximo se espera la mitad de la corriente máxima que corresponde a 50mA, para lo cual se obtuvo el resultado de la Figura 4.10.



Figura 4.10: Medición de corriente en miliamperes obtenida a un voltaje de entrada de 2.5V.

De la medición se obtuvieron 49.7mA una buena medida ya que se esperaban 50mA.

- Al aplicar un voltaje de 0V

Para este caso la corriente de salida fue de cero tal cual se esperaba de la medición.

Después se implementó el convertidor de corriente a voltaje el cual a partir de las mediciones obtenidas de corriente en el circuito anterior se debía de tener una salida proporcional de cada una, como se ilustra en la Figura 4.11.

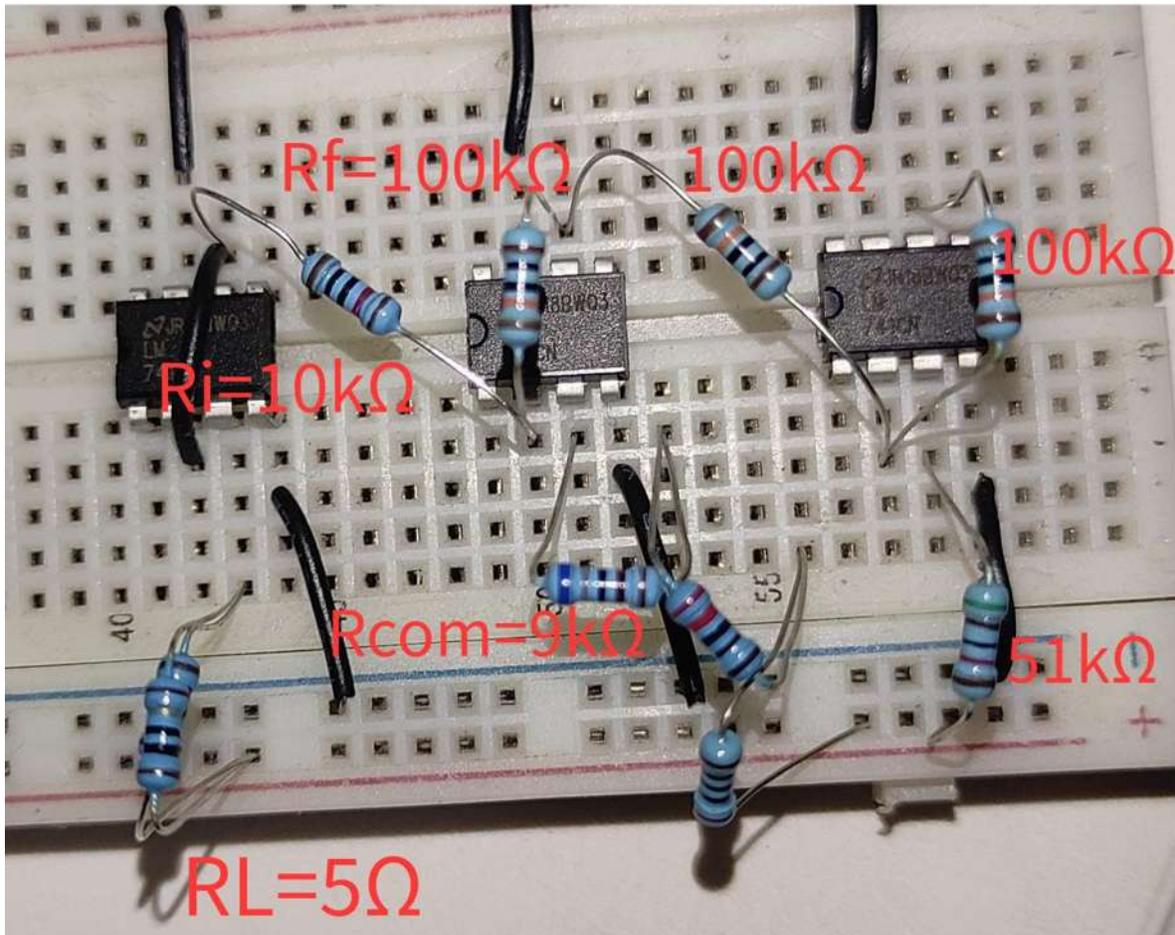


Figura 4.11: Implementación de convertidor de corriente a voltaje.

- Corriente de entrada 99.2mA

Para esta medida se esperaba una corriente de 100mA, pero se obtuvo algo muy próximo por lo cual a la salida se debería de obtener aproximadamente 5V, de los cuales se tomó la medición de la Figura 4.12.



Figura 4.12: Medición de voltaje obtenida a una corriente de entrada de 99.2mA.

Ya que la corriente de entrada no era exactamente 100mA se esperaba un voltaje próximo a 5V, de lo cual se obtuvo 4.95V una medida muy aproximada a lo esperado.

- Corriente de entrada 49.7mA

Al igual que la medición anterior se esperaba una corriente de 50mA, por lo cual la salida de voltaje puede variar debido a la corriente de entrada, pero se espera una salida de 2.5V, para esto se obtuvo la medida de la Figura 4.13.



Figura 4.13: Medición de voltaje obtenida a una corriente de entrada de 49.7mA.

El voltaje obtenido fue de 2.65V muy próximo a 2.5V que se esperaban por lo cual se toma de buena manera esta medida.

- Corriente de entrada 0mA

Con esta entrada de corriente la salida fue de 0V como se esperaba.

#### 4.4 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA COMPLETO

Para este punto se acoplaron las etapas caracterizadas anteriormente, para observar el funcionamiento del sistema completo, donde al aplicarle calor al termopar en la salida obtendremos un rango de voltaje de 0V a 5V el cual será nuestra señal analógica de temperatura.

La caracterización del sistema completo se representa de la siguiente manera.

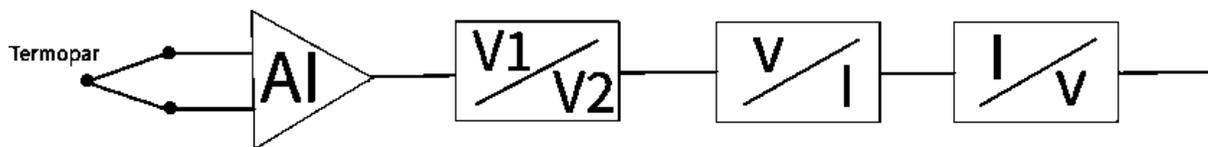


Figura 4.14: Diagrama de caracterización del sistema completo.

Este sistema implementado se muestra en la Figura 4.15.

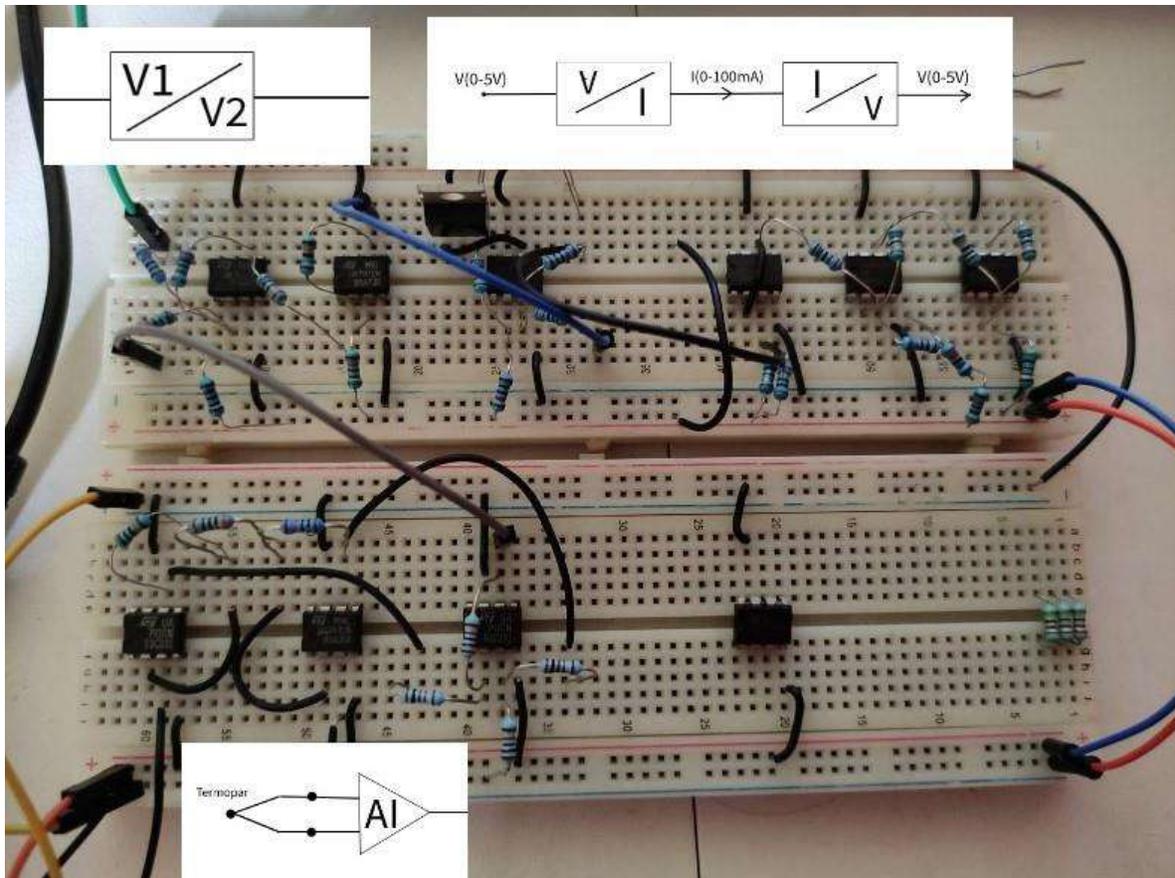


Figura 4.15: Implementación del sistema completo.

Para la caracterización del sistema se aplicó calor en el termopar y posteriormente se tomaron las mediciones a la salida del sistema cuando se obtuviera la salida de 0V y 5V.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Cuando se obtuvo la salida de 5V en el sistema la temperatura aplicada fue de 160°C.
- Cuando se obtuvo la salida de 0V la temperatura que se aplicó fue de 20°C.

Para presentar la medición digitalmente se necesitó una tarjeta Arduino para utilizar su convertidor analógico a digital, el cual tiene una resolución de 10 bits y en su entrada analógica soporta 5V lo cual es ideal para nuestra salida antes caracterizada, por lo cual a un voltaje de 5V el convertidor nos regresaría un valor de 1023 y a 0V un valor de 0. Con esto ya podríamos presentar la medición en

grados en la interfaz de Arduino escalando la medición del ADC a rango de temperatura que se obtuvo en la caracterización.

Para comprobar la medición de nuestro sistema se hizo la comparación de medida del sistema con un módulo de medición de temperatura que se muestra en la Figura 4.16.

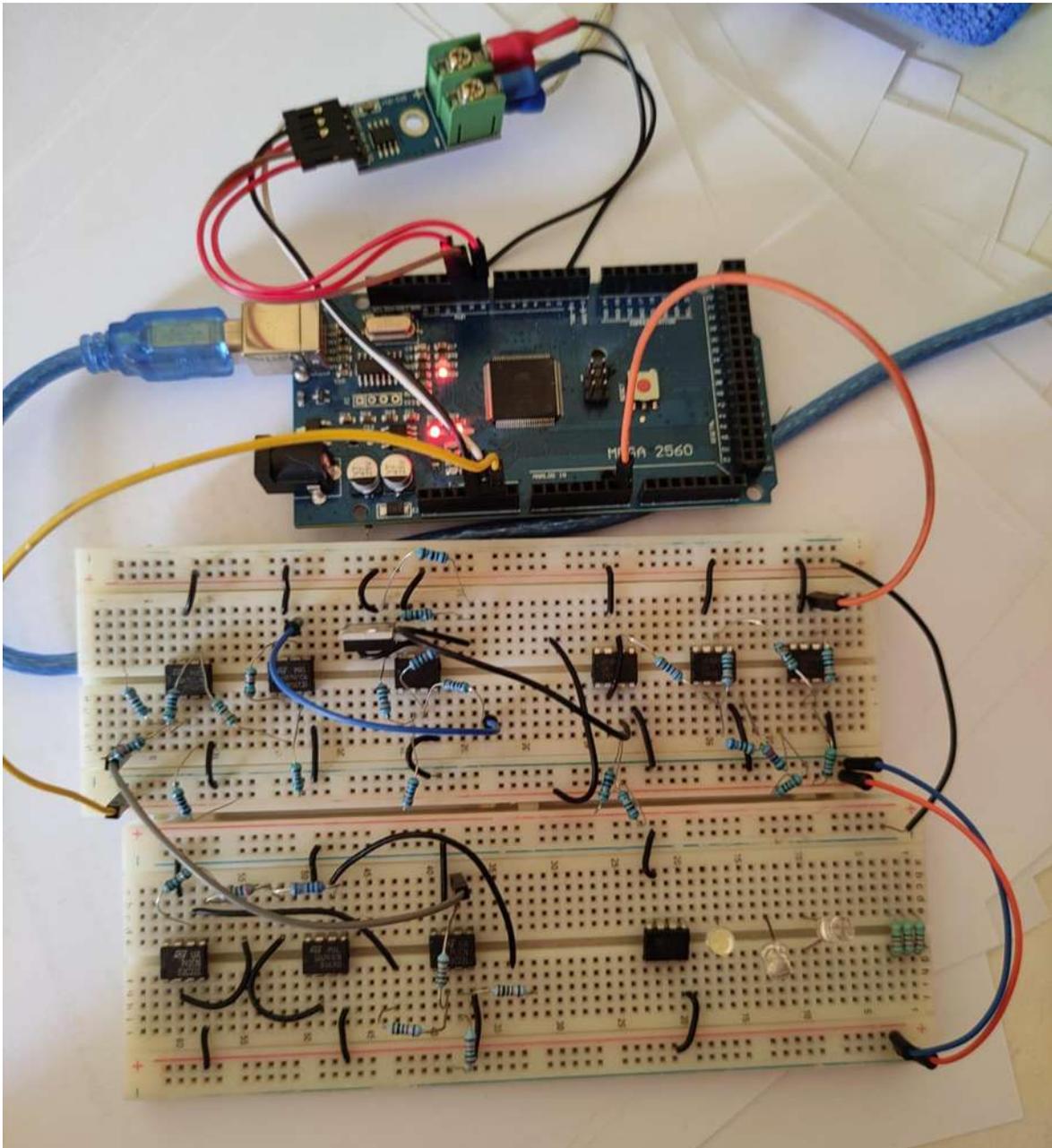


Figura 4.16: Conexión a Arduino del módulo y sistema implementado.

El código utilizado en Arduino para ver la comparación de las medidas se indica en la Figura 4.17.

```
1 #include "max6675.h"
2 int SO = 8;
3 int CS = 9;
4 int CLK = 10;
5 MAX6675 TEMP(CLK, CS, SO);
6 void setup() {
7   Serial.begin(9600);
8   delay(500);
9 }
10 void loop() {
11   int T=analogRead(A7);
12   int TE=map(T,0,1023,20,160);
13   Serial.print("Grados °C = ");
14   Serial.print(TEMP.readCelsius());
15   Serial.print("      ");
16   Serial.print(T);
17   Serial.print("      ");
18   Serial.print("Grados °C = ");
19   Serial.println(TE);
20   delay(500);
21 }
```

Figura 4.17: Código para obtener la medición de temperatura del sistema y compararlo con la medición del módulo.

Para la medición de nuestro sistema primero leemos la señal analógica de la salida del sistema como se muestra en la línea 11 del código, la cual nos estará devolviendo un valor entre 0 y 1023 dependiendo del voltaje que se esté leyendo.

Como sabemos, a 5V le corresponde un valor de 1023 al cual también le corresponde una temperatura 160°C y a 0V le corresponde un valor de 0 al cual le corresponde una temperatura de 20°C.

Sabiendo esto en la línea 12 se hace un escalamiento mediante la función MAP al cual se le dan los parámetros de entrada que son de 0 a 1023 y los parámetros de salida serán 20 y 160 que corresponden a la temperatura, con esto cuando el valor de entrada sea 0 se mostrará un valor de 20 y cuando este sea 1023 se mostrará un valor 160.

En la línea 14 se imprime el valor en grados Celsius del módulo de medición de temperatura.

En la línea 16 se imprime el valor del convertidor analógico digital.

En la línea 19 se imprime el valor en grados Celsius de la medición del sistema.

La comparación entre mediciones se hizo a distintas temperaturas para observar cómo varían dichas mediciones entre si de lo cual se obtuvieron los valores que se dan en la Figura 4.18 y Figura 4.19.

Medición del módulo		Medición del sistema	
Grados °C = 122.50	747	Grados °C = 122	
Grados °C = 122.00	745	Grados °C = 121	
Grados °C = 122.25	743	Grados °C = 121	
Grados °C = 122.00	742	Grados °C = 121	
Grados °C = 121.75	741	Grados °C = 121	
Grados °C = 121.50	740	Grados °C = 121	
Grados °C = 121.50	737	Grados °C = 120	
Grados °C = 121.25	738	Grados °C = 120	
Grados °C = 121.25	735	Grados °C = 120	
Grados °C = 120.75	733	Grados °C = 120	
Grados °C = 120.00	731	Grados °C = 120	
Grados °C = 120.50	729	Grados °C = 119	
Grados °C = 120.00	728	Grados °C = 119	
Grados °C = 120.25	728	Grados °C = 119	
Grados °C = 119.75	726	Grados °C = 119	
Grados °C = 119.00	724	Grados °C = 119	
Grados °C = 119.25	723	Grados °C = 118	
Grados °C = 118.75	721	Grados °C = 118	
Grados °C = 118.75	719	Grados °C = 118	

Figura 4.18: Comparación 1 entre medidas del módulo y medidas del sistema.

Medición del módulo		Medición del sistema	
Grados °C = 93.25	519	Grados °C = 91	
Grados °C = 93.25	517	Grados °C = 90	
Grados °C = 92.75	516	Grados °C = 90	
Grados °C = 92.75	514	Grados °C = 90	
Grados °C = 92.50	513	Grados °C = 90	
Grados °C = 92.50	512	Grados °C = 90	
Grados °C = 91.75	511	Grados °C = 89	
Grados °C = 91.75	509	Grados °C = 89	
Grados °C = 92.00	505	Grados °C = 89	
Grados °C = 91.75	506	Grados °C = 89	
Grados °C = 91.50	504	Grados °C = 88	
Grados °C = 91.25	504	Grados °C = 88	
Grados °C = 91.00	500	Grados °C = 88	
Grados °C = 90.25	499	Grados °C = 88	
Grados °C = 91.00	500	Grados °C = 88	
Grados °C = 90.75	498	Grados °C = 88	
Grados °C = 90.25	495	Grados °C = 87	
Grados °C = 90.25	493	Grados °C = 87	
Grados °C = 90.25	494	Grados °C = 87	
Grados °C = 90.00	493	Grados °C = 87	

Figura 4. 19: Comparación 2 entre medidas del módulo y medidas del sistema.

Se puede observar que las mediciones obtenidas del sistema diseñado son bastante similares a las mediciones obtenidas con el módulo, sin embargo, en la comparación dos se puede observar que la medición tiene un error no muy considerable de tan solo 3°C.

# **CAPÍTULO 5**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

De esta manera se diseñó e implementó el sistema de instrumentación de temperatura, teniendo como primera etapa la amplificación de la señal del termopar para que fuera más fácil manipular una señal en orden de los volts, posteriormente se convirtió el voltaje obtenido en la caracterización del termopar acoplado con el amplificador, a uno puramente positivo mediante un convertidor de voltaje a voltaje que nos diera en la salida 5V máximo, posteriormente se pasó a la etapa de transmisión en este caso fue por corriente para lo cual se diseñó un convertidor de voltaje a corriente que tendría una salida máxima de 100mA y después se acopló a un convertidor de corriente a voltaje el cual en su salida tendría la señal de voltaje a la cual le corresponde la medición de temperatura en un rango de 0V a 5V. Para poder comprobar su correcto funcionamiento se comparó con otra manera de medir temperatura para tener una referencia sobre el buen funcionamiento del sistema diseñado, el cual en las comparaciones que se hicieron se obtuvo un resultado muy bueno de medición de temperatura ya que los resultados fueron bastante precisos pero no fueron totalmente exactos tomando como referencia la otra medición de temperatura, sin embargo se logró tener un error bastante bajo ya que solo se llegaba a presentar un error de tan solo 3°C, lo cual es bastante aceptable.

### **5.2 RECOMENDACIONES**

Para finalizar, este error obtenido se debió a los materiales utilizados como por ejemplo las resistencias ya que estas no se usaron de un valor exacto debido a los valores comerciales de estas, solo se hizo una aproximación lo más exacta posible a los valores calculados esto se solucionaría utilizando potenciómetros de precisión para ajustarlos a los valores exactos, esto no se hizo debido a la gran cantidad que se debía utilizar, por otro lado se usaron unos amplificadores operacionales de

propósito general LM741 debido a su fácil acceso, para este tipo de implementaciones con termopares se recomendaría utilizar un amplificador de instrumentación más dedicado al manejo de microvoltios y milivoltios ya que el voltaje obtenido de los termopares ronda dentro de estos rangos, para esto sería ideal el AD620 ya que este está diseñado para la amplificación de señales de microvoltios y milivoltios.

# BIBLIOGRAFÍA

1. HANNA Instruments. La importancia de la temperatura [Internet]. s.f. [Consultado 20 Mar 2023]. Disponible en: <https://www.hannainst.es/blog/1521/la-importancia-de-la-temperatura-termometro-d> [1]
2. Marllelis G, Sadi I. Fundamentos básicos de instrumentación y control [Internet]. 2017 [Consultado 20 Mar 2023]. Disponible en: <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos+b%C3%A1sico+de+instrumentaci%C3%B3n+y+control.pdf/df746edc-8bd8-2191-2218-4acf36957671#:~:text=INSTRUMENTACI%C3%93N%3A%20Es%20el%20conjunto%20de,los%20Sistemas%20de%20Control%20Autom%C3%A1tico> . [2]
3. Evolución de la instrumentación [Internet]. s.f. [Consultado 22 Mar 2023]. Disponible en: [https://ingcaicedo.tripod.com/aut/Evol\\_Instrum.pdf](https://ingcaicedo.tripod.com/aut/Evol_Instrum.pdf) [3]
4. OMEGA. La importancia de la instrumentación [Internet]. s.f. [Consultado 22 Mar 2023]. Disponible en: <https://mx.omega.com/prodinfo/instrumentacion.html#:~:text=La%20instrumentaci%C3%B3n%20industrial%20es%20el,y%20controlarlas%20con%20tales%20fines> [4].
5. José María D. Instrumentación electrónica de comunicaciones [Internet]. 2005 [Consultado 24 Mar 2023]. Disponible en: [https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion\\_5\\_it/iec\\_1.pdf](https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_it/iec_1.pdf) [5]
6. Badger Meter. Medidores de flujo ¿Qué son y cómo funcionan? [Internet]. s.f. [Consultado 24 Mar 2023]. Disponible en: <https://www.badgermeter.com/es-es/blog-es-es/medidores-de-flujo-que-son-y-como-funcionan/> [6]
7. Rechner Sensors. El sensor de temperatura [Internet]. s.f. [Consultado 26 Mar 2023]. Disponible en: <https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/el-sensor-de-temperatura> [7]

8. SRC. Tipos de sensores de temperatura [Internet]. s.f. [Consultado 26 Mar 2023]. Disponible en: <https://srcsl.com/tipos-sensores-temperatura/#:~:text=Sensores%20RTD,-PT100%20y%20PT1000&text=e%20tipo%20de%20sensor%20basa,su%20alrededor%20o%20ceramica%20estratificada>. [8]