



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

“SISTEMAS DE INSTRUMENTACION DE TEMPERATURA
UTILIZANDO LA TARJETA HUMUSOFT AD-622”

Tesis

QUE, PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

PRESENTA:
MANUEL ESPINOZA GONZÁLEZ

ASESOR DE TESIS:
Doctor en Ciencias de Ingeniería Electrónica Gilberto González Ávalos

MORELIA, MICHOACÁN

MARZO DEL 2016

Agradecimientos

A mi madre Amparo González Arredondo y a mi padre Aureliano Espinoza Ríos por apoyarme en todo momento dentro y fuera de mi hogar, sobre todo a mi madre que haciendo sacrificios para que yo pudiera tener una educación y llegar hasta este momento, también a mi esposa e hijo Marisol y Manuel que son ya parte de mi vida y son el motor de mi superación tanto académica como personal, a mi esposa por el apoyo incondicional en las buenas y las malas me ha motivado a terminar con mi preparación académica como ingeniero en electrónica.

A mis hermanos Aureliano e Isabel que compartieron momentos buenos y malos pero siempre unidos como familia, aprendí de sus experiencias mucho.

A mi asesor de tesis Dr. Gilberto González Ávalos y al personal docente que se compromete con su labor, que de manera incondicional brindaron los elementos necesarios para que la realización de este proyecto fuera posible, gracias a su verdadera vocación de profesores.

A familiares con los que se comparten las alegrías y las desgracias, gracias por aportar sus experiencias que de una u otra manera aportan sabiduría.

A mis amigos y compañeros de escuela con los que hemos compartido experiencias de aprendizaje y colaboración, lo cual nos enseña a trabajar en equipo y así obtener logros mejores y bien hechos.

Dedicatoria

Esta tesis la dedico a mis padres Aureliano y Amparo, que en base a su esfuerzo, sacrificio y confianza que me otorgaron a lo largo de mi vida, he logrado llegar hasta este momento crucial en mi formación académica, a mi madre que ha sido y será mi ejemplo de vida luchando hasta el final no importando las adversidades y tropiezos siempre logrando sus objetivos, a mi padre que me ha dado una proyección de responsabilidad ante la familia.

A mi hijo Manuel se la dedico porque es la persona que me ha enseñado como es realmente la vida gracias a Manuel valoro lo que tengo y lo que he logrado.

A mi esposa que me ha motivado en todo momento y ha estado a mi lado sin decir ninguna sola queja que aunque me vaya mal ella me anima a seguir adelante.

A mis sobrinos Leonardo y Amayrani que me dieron una lección de vida muy importante la responsabilidad de criar y educar a un hijo, también al resto de familiares y amigos que me apoyaron con consejos y palabras de ánimo.

También dedico este trabajo a mis hermanos Aureliano e Isabel, que siempre han estado unidos como familia que sin importar los problemas y adversidades que se han presentado siempre he contado con su apoyo, a mi hermana que me ha apoyado durante las situaciones fuertes.

Contenido

	Página
Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Contenido.....	iv
Resumen.....	vi
Abstract.....	vi
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tablas.....	viii
Lista de Símbolos y Abreviaciones.....	ix
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Los sistemas de instrumentación por medio de tarjetas DAQ.....	2
1.2. Objetivo.....	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Metodología.....	4
1.5. Contenido de la tesis.....	5
Capítulo 2. Sistemas de instrumentación de temperatura.....	6
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Sistemas de Instrumentación.....	8
2.2.1. Instrumentación virtual.....	10
2.3. Puente de Wheatstone.....	11
2.3.1. Modelo Matemático del puente de Wheatstone.....	12
2.4. Transductor.....	14
2.4.1. Transductores de parámetro variable (pasivo).....	14
2.4.2. Transductores activos.....	15

2.5. Termistor.....	16
2.5.1. Termistor de coeficiente negativo (NTC).....	17
2.5.2. Termistor de coeficiente positivo (PTC).....	17
2.5.3. Modelo matemático del termistor.....	18
2.6. RTD.....	19
2.7. Termopar.....	22
2.8. Circuito integrado.....	25
Capítulo 3. La tarjeta HUMUSOFT AD-622 y Real Time Toolbox.....	26
3.1. Lista de características.....	27
3.2. Especificaciones.....	27
3.2.1. Convertidor A/D.....	28
3.2.2. Convertidor D/A.....	29
3.2.3. Entradas Digitales.....	30
3.2.4. Salidas digitales.....	31
3.3. Aplicaciones de la tarjeta HUMUSOFT AD-622.....	31
3.3.1. Descripción de la señal de salida de la tarjeta HUMUSOF AD-622.....	32
3.4. Real Time Toolbox (Librerías para ejecutar en tiempo real).....	33
3.4.1. Bloques de Real Time Toolbox en SIMULINK.....	33
3.4.2. Descripción de los bloques de la figura 3.3.....	34
Capítulo 4. Diseño de sistemas de instrumentación en AD-622.....	39
4.1. Elección y pruebas del termistor.....	40
4.2. Pruebas del puente con termistor NTC y sensor de temperatura LM35.....	43
4.2.1. Prueba con el puente de Wheatstone con termistor NTC.....	44
4.2.2. Prueba con el puente de Wheatstone con sensor LM35.....	46
4.3. Amplificador de instrumentacion.....	48
4.3.1. Modelo matemático del amplificador de instrumentación.....	49
4.4. Prueba con termistor NTC conectado al amplificador de instrumentación.....	50
4.5. Termistor NTC y Amplificador de instrumentación virtual.....	61

4.6. Amplificador de instrumentación virtual conectado al sensor LM35.....	64
4.7. Comparación del comportamiento del termistor NTC y el sensor LM35.....	67
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones.....	68
5.1. Conclusiones.....	68
5.2. Trabajos futuros.....	69
Preguntas.....	70
Apéndices.....	71
A. Configuración de los parámetros en SIMULINK.....	72
B. Configuración de los bloques de la librería Real Time Toolbox.....	73
Bibliografía.....	74
Páginas web.....	75

Resumen

El control de temperatura es fundamental en diversos procesos industriales, químicos, petroquímicos, siderúrgicos, farmacéutico, alimenticio, hidroeléctrico, nuclear, etc. Por tal motivo se implementa una investigación sobre medición de temperatura de sistemas de instrumentación donde utilizaremos la tarjeta de adquisición de datos HUMUSOFT AD-622 que cuenta con la compatibilidad y soporte de SIMULINK, para medir y obtener el control de temperatura se usa un transductor que se acopla con el puente de Wheatstone y este a su vez interactúa con la tarjeta de adquisición y a través del software de programación MATLAB (SIMULINK) y a través del cual se gráfica en tiempo real.

Palabras clave: Temperatura, tarjeta de adquisición de datos, HUMUSOFT AD-622, SIMULINK, MATLAB, transductor, puente de wheatstone, tiempo real, adquisición.

Abstract

The temperature control is critical in industrial, chemical, petrochemical, metallurgical, pharmaceutical, food, hydroelectric, nuclear processes, etc. Therefore the investigation of the temperature measurement is implemented based on instrumentation systems which use the card data acquisition HUMUSOFT AD- 622 has compatibility and support SIMULINK to measure and obtain the temperature control used a transducer interact with a Wheatstone bridge to which he will condition the acquisition card program and through MATLAB (SIMULINK) we show the graph in real time.

Keywords: Temperature, data acquisition card, HUMUSOFT AD-622, MATLAB (SIMULINK), transducer wheatstone bridge, real-time acquisition.

Lista de Figuras

	Página
2.1. Evolución de dispositivos de instrumentación.....	7
2.2. Etapas de procesamiento de los sistemas de instrumentación.....	10
2.3. Conexión del circuito puente de Wheatstone.....	12
2.4. Transductores pasivos y activos.....	16
2.5. Gráfica de resistencia Vs temperatura de NTC y RTD.....	18
2.6. Respuesta para $T > 0$ y Respuesta para $T < 0$	20
2.7. Formas de conexión de RTD, Dos Hilos, Tres Hilos y Cuatro Hilos.....	22
2.8. Efecto Seebeck.....	23
2.9. Efecto Peltier.....	23
2.10. Efecto Thompon.....	24
2.11. Sensor de temperatura en circuito integrado LM35.....	25
3.1. Tarjeta HUMUSOFT AD-622 con (SIMULINK).....	26
3.2. Conexión de las entradas digitales tanto con pulsador como interruptor.....	30
3.3. Bloques de la librería de Real Time en SIMULINK.....	33
3.4. Bloque Adapter.....	34
3.5. Bloque RT In (Entrada).....	34
3.6. Bloque RT Out (Salida).....	35
3.7. Bloque de entrada asíncrona.....	35
3.8. Bloque de salida asíncrona en tiempo real.....	35
3.9. Bloque de procesos en tiempo real en SIMULINK.....	36
3.10. Bloque con entrada de almacenamiento.....	36
3.11. Bloque de salida almacenada.....	37
3.12. Bloque de sincronización en SIMULINK.....	37
3.13. Bloque de entrada enmarcada.....	37
3.14. Bloque de salida enmarcada.....	38
3.15. Bloque de entrada activada por disparo.....	38
3.16. Bloque de salida activada por disparo.....	38

	Página
4.1. Procedimiento de prueba del termistor NTC.....	41
4.2. Curvas de termistor NTC con datos de prueba y del fabricante.....	42
4.3. Puente de Wheatstone con termistor NTC.....	43
4.4. Conexión del puente de Wheatstone y dispositivos de medición.....	44
4.5. Diagrama de simulación en Proteus del puente con termistor NTC.....	45
4.6. Gráfica del sensor de temperatura LM35.....	46
4.7. Armado del puente de Wheatstone con el sensor de temperatura LM35.....	47
4.8. Configuración utilizada como amplificador de instrumentación.....	49
4.9. Configuración de pines del circuito integrado LM324.....	50
4.10. Diagrama de conexión del amplificador de instrumentación.....	51
4.11. Conexión del puente de Wheatstone con amplificador de instrumentación...	53
4.12. Simulación del puente de Wheatstone con amplificador de instrumentación.....	54
4.13. Librerías de SIMULINK y sus elementos eléctricos y electrónicos.....	55
4.14. Bloque de SIMULINK PS-Simulink converter.....	56
4.15. Bloque de SIMULINK Solver Configuration.....	56
4.16. Bloque de SIMULINK Voltaje sensor.....	56
4.17. Diagrama esquemático del puente de Wheatstone en SIMULINK.....	57
4.18. Simulación del puente de Wheatstone en Proteus.....	58
4.19. Bloque Powergui de SIMULINK.....	58
4.20. Conexión del puente de Wheatstone y el Amplificador de instrumentación.	59
4.21. Conexión del puente de Wheatstone con el Amplificador de instrumentación...	60
4.22. Conexión de bloques en SIMULINK de acuerdo a la ecuación 4.16.	62
4.23. Conexión del puente de Wheatstone aplicando temperatura al termistor NTC...	63
4.24. Datos obtenidos durante la prueba implementada en SIMULINK.....	63
4.25. Respuesta de nuestro circuito final en tiempo real con SIMULINK.....	64
4.26. Conexión de bloques en SIMULINK para interactuar con el sensor LM35.....	65
4.27. Respuesta de voltaje de salida del Amplificador de instrumentación.....	66
4.28. Conexión del sensor LM35 a la tarjeta HUMUSOFT AD-622.....	66
A.1. Ventana de configuración de parámetros para la simulación.....	70
B.1. Configuración de parámetros del bloque RT In de Real Time Toolbox.....	71

Lista de Símbolos y Abreviaturas

DAQ	Adquisición de datos
AO	Amplificador operacional
\cong	Aproximadamente
IC	Circuito integrado
LM34	Circuito integrado (Amplificador operacional cuádruple)
LM56	Circuito integrado (Oscilador de voltaje controlado)
LM35	Circuito integrado (Sensor de temperatura en grados Centígrados)
LM75	Circuito integrado (Sensor de temperatura)
AD590	Circuito integrado (Transductor de temperatura)
PC	Computadora Personal
Δ	Constante de disipación
PLC	Controlador lógico programable
A/D	Convertidor analógico digital
CD	Corriente directa
I_g	Corriente en el Amplificador de Instrumentación
CMRR	Factor de rechazo al modo común
FEM	Fuerza electromotriz
de/dt	Función derivativa
A_v	Ganancia del Amplificador de instrumentación
K_d	Ganancia derivativa
K_i	Ganancia integral
K_p	Ganancia proporcional
K	Kelvin
$K\Omega$	Kilo ohms
pH	Medida de acidez
MHz	Mega Hertz
μs	Micro segundos
mV	Mili Voltios

Lista de Símbolos y Abreviaturas

mV/ C	Mili voltios por cada grado Centígrado
<i>mW</i>	Mili Watt
$2R_1$	Multiplicación de la resistencia R_1
Ω	Ohms
%	Porcentaje
P	Potencia disipada en el termistor
B	Punto de unión del puente de Wheatstone
C	Punto de unión del puente de Wheatstone
R _x	Resistencia a encontrar
R_G	Resistencia de ajuste de ganancia
R_g	Resistencia de ganancia calculada
Rtermistor	Resistencia del termistor NTC
R'_1	Resistencia equivalente a R_1
R'_2	Resistencia equivalente a R_2
R2	Resistencia número dos conocida
R3	Resistencia número tres conocida
R1	Resistencia número uno conocida
Dsal	Salida del controlador derivativa
Isal	Salida del controlador integral
Pout	Salida del controlador proporcional
e(t)	Señal de error
NTC	Coficiente de temperatura negativo
PTC	Coficiente de temperatura positivo
-Vcc	Voltaje de alimentación negativo
+Vcc	Voltaje de alimentación positivo
~	Corriente alterna
VDC	Voltaje de corriente directa

Lista de Símbolos y Abreviaturas

V_{ent}	Voltaje de entrada
V_{in}	Voltaje de entrada
V_s	Voltaje de salida
V_o	Voltaje de salida
V_{salida}	Voltaje de salida
V_{out}	Voltaje de salida del Amplificador de instrumentación
V_2	Voltaje en el punto A
V_A	Voltaje en el punto A
V_1	Voltaje en el punto B
V_B	Voltaje en el punto B
V_c	Voltaje en el punto C
$V_{intermedio}$	Voltaje intermedio

Capítulo 1

Introducción

En el desarrollo de esta investigación se utilizará la tarjeta de adquisición de datos HUMUSOFT AD-622 que permitirá interactuar con la herramienta computacional de MATLAB (SIMULINK), este programa ayudará para el diseño de los controladores que se requieren para el sistema que se pretende controlar, además SIMULINK tiene la gran ventaja de visualizar el comportamiento del sistema de instrumentación implementado en tiempo real.

El control de temperatura es de gran importancia en las industrias ya que muchos de los procesos dependen de la temperatura, como es el caso de la fabricación de productos derivados del petróleo, productos alimenticios, la industria cerámica, las centrales generadoras de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, entre otros muchos procesos tanto industriales y domésticos como en refrigeradores, horno de microondas, cafeteras entre otros, en todo caso el control de la temperatura es uno de las aplicaciones más utilizadas.[10]

En esta investigación se pretende controlar la temperatura por medio de los datos obtenidos de experimentos y pruebas, los datos se acoplarán en el diseño de los controladores para que pueda ser procesada por la tarjeta HUMUSOFT AD-622, la cual interactúa con la PC que maneja la herramienta computacional de MATLAB (SIMULINK), en el cual se introducen los datos de diseño del controlador que responden a los estímulos de la tarjeta DAQ de tal manera que podamos visualizar la temperatura en tiempo real.

1.1 Los sistemas de instrumentación por medio de tarjetas DAQ

La instrumentación trata de sistemas integrados cuya finalidad es medir magnitudes físicas de un sistema externo, elaborar la información asociada a ellas y presentarla a un operador. Las características por la que la tecnología electrónica es la más utilizada por sistemas de instrumentación debido a las señales eléctricas que permiten manejar un rango dinámico de tiempo muy amplio, pueden ser transmitidas fácilmente a través de cables metálicos, sistemas radiados, o fibra óptica. Pueden ser amplificadas por circuitos electrónicos de forma muy eficientes y las señales eléctricas son las más apropiadas para interactuar con la computadora. [11]

La adquisición de datos (DAQ), es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como: voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de: sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Comparado con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PC estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable. [21]

Actualmente, muchos de los equipos de instrumentación están basados en la adquisición de datos (DAQ), que por medio de la computadora interactúan para que de esta forma se resuelvan todos los aspectos referentes al procesamiento de la señal, al registro, a la transferencia y a la presentación de la información; a estos equipos se les denomina instrumentación inteligente, este tipo de instrumentación inteligente va acompañada de transductores, DAQ y circuitos analógicos que acondicionen la señal a los niveles adecuados para ser codificada en las mejores condiciones.

En resumen, la instrumentación en la actualidad es fundamental en los procesos industriales ya que los dispositivos que se utilizan van mejorando y aumentando la eficacia de los mecanismos de percepción y comunicación del hombre.

1.2 Objetivo

Diseñar e implementar sistemas de instrumentación de temperatura basado en la tarjeta HUMUSOFT AD-622, la cual se maneja en el entorno de lenguaje de programación de MATLAB (SIMULINK), de forma práctica y versátil ofreciendo mayor gama de posibilidades en la investigación para lograr mejores resultados.

1.3 Justificación

El control de la temperatura es primordial en diversos procesos industriales, por tal motivo se hace referencia a la investigación que se basa en el control de temperatura utilizando la tarjeta de adquisición y el apoyo de una PC, lo cual, facilitará la investigación y aumentará el desempeño de dicho proyecto.

La medición es fundamental en los procesos industriales, cuyo objetivo, es la obtención del producto final especificado, de no llevar acabo el control de temperatura en los equipos industriales; el producto tendría varias anomalías y sería un producto defectuoso. De ahí la importancia de este proyecto, existen diferentes tipos de equipos utilizados en la industria para este propósito, cada uno de ellos son cada vez más precisos de tal manera que sean los más eficientes.

En la actualidad las computadoras personales son de gran utilidad ya que con estos equipos resulta más fácil y eficiente la interacción de los equipos de control de temperatura, de esta manera se implementa el proyecto descrito anteriormente, ya no se tendrá que cambiar algún elemento físico del equipo para modificar el desempeño del proyecto a realizar, por medio del lenguaje de programación de MATLAB (SIMULINK), con esto se tendrá mejor control de las variables que intervienen en el circuito de tal manera que su manejo con la PC, será sumamente versátil y práctico de entender y manejar.

1.4 Metodología

El control de la temperatura que se implementará en este proyecto, se basa en la medición de los datos proporcionados por los experimentos y pruebas realizadas, dicha medición será procesada por la tarjeta de adquisición HUMUSOFT AD-622 la cual se acoplará con el diagrama de bloques que se diseñó en MATLAB (SIMULINK), en donde ya tendrá los datos proporcionados por los experimentos y pruebas realizadas anteriormente, donde la tarjeta de adquisición de datos procesara la información y nos dará graficas del comportamiento de la temperatura.

La metodología que se implementará en este proyecto se desglosa en estos pasos:

- Investigación obtenida para llevar acabo el objetivo de este proyecto y determinar su viabilidad.
- Realización de pruebas y experimento para la obtención de datos necesarios para el procesamiento de graficas en tiempo real y la adquisición de datos.
- Elaboración del controlador idóneo para la admisión de los datos que llevará nuestro controlador deseado de la herramienta computacional SIMULINK.
- Comprobar el funcionamiento correcto del controlador realizado para llegar al objetivo que se pide.

1.5 Contenido de la tesis

En el **Capítulo 1**, se hace una pequeña introducción a esta investigación, se describe brevemente los sistemas de instrumentación presentes en la industria y se define el objetivo, la justificación y la metodología de este proyecto.

En el **Capítulo 2**, se describen los diferentes tipos de elementos de medición de temperatura que se utilizan, además se desarrollan los tipos de elementos de medición para una mejor comprensión.

En el **Capítulo 3**, se presenta la tarjeta de adquisición de datos HUMUSOFT AD-622, a utilizar.

En el **Capítulo 4**, se describe el diseño de sistemas de instrumentación con la tarjeta de adquisición de datos HUMUSOFT AD-622.

En el **Capítulo 5**, se expresan las conclusiones que surgieron en base a la investigación y los experimentos del proyecto, de tal forma que se pueda dar un seguimiento futuro y que sirva de base para las siguientes investigaciones.

Capítulo 2

Sistemas de instrumentación de temperatura

La instrumentación de los sistemas tiene la finalidad de medir magnitudes físicas de un sistema externo, elaborar la información asociada a ellas y presentarla a un operador, en esta investigación se explica la variable a medir temperatura que es una magnitud física asociada a la energía interna de un sistema termodinámico, existen muchas limitaciones del sistema de medida para cada tipo de aplicación, como lo son la precisión, por la velocidad de captación de temperatura, por la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador. [12]

Los sistemas de instrumentación son variados y conllevan diferentes tipos de elementos según sea la variable a medir, en nuestro caso para la medición de temperatura se requiere un dispositivo que tenga la propiedad de interpretar la información física presente en el medio; esto es logrado gracias al transductor el cual es el componente que convierte la magnitud física a medir, en una señal eléctrica. En este componente se puede diferenciar entre el sensor que es el elemento sensible primario que responde a las variaciones de magnitud que se mide, y el transductor que es el que lleva a cabo la conversión energética entre la magnitud de entrada y de salida.

En la etapa de procesamiento la señal proveniente del bloque de transducción debe ser adecuada, bajo parámetros bien definidos como son: Tipos de sensores y características estáticas y/o dinámicas, niveles de voltaje o corriente, es decir el bloque de acondicionamiento incluye todas aquellas transformaciones que deben realizarse sobre señales eléctricas que resultan en la salida del transductor, y que son previas al procesado para extraer la información que se mide o evalúa. [g]

2.1 Antecedentes

La utilización de los instrumentos, se remonta a los albores de la civilización y conforme el hombre se desarrollaba, fue necesario medir ciertos parámetros que se requerían para acotar sus actividades cotidianas, tales como el tiempo, el peso, la temperatura o el caudal. Industrialmente podemos establecer que en los inicios de los años 20, se dio el desarrollo formal de la instrumentación por los requerimientos de los nuevos procesos industriales, tales como la refinación del petróleo, la pasteurización de los lácteos o la generación de electricidad. [7]

Se desarrollaron nuevos controladores electrónicos analógicos con el concepto de alta densidad, más capaces, nuevos tipos de válvulas de control, mejorándose considerablemente el desempeño de los circuitos de control, se desarrollaron los primeros PLC de tipo digital. También se desarrollaron los primeros sistemas de tele medición. En la siguiente Figura 2.1, se presenta la evolución de algunos dispositivos de instrumentación utilizados en diferentes procesos. [7]



Figura 2.1. Evolución de Dispositivos de Instrumentación. [7]

Surge un avance tecnológico que revoluciona muchos campos del quehacer humano y que encontró la aplicación inmediata en los sistemas de instrumentación y control industrial: el microprocesador. Se aplicó en los sistemas de control distribuido aumentándose considerablemente su capacidad, funcionalidad y confiabilidad.

.2.2 Sistemas de Instrumentación

Como ya se ha mencionado, los sistemas de instrumentación están ampliamente categorizados tanto en sistema de medida como en sistemas de control. En un sistema de medida, una magnitud es evaluada y su valor es convenientemente visualizado. En los sistemas de control, la información acerca de la magnitud que está siendo medida es usada para controlar los procesos industriales, de manera que su valor medido iguale un valor deseado. [12]

Existen fenómenos que podemos medir por medio de la instrumentación, la medición de estos fenómenos se divide en dos características que dependen de los dispositivos que se utilicen, uno de ellos es por medio de dispositivos electrónicos analógicos y el segundo es el digital; por medio del cual se obtiene y procesa los datos, se acondicionan y se muestran de forma visual. La tecnología avanza demasiado rápido y ofrece una amplia gama de instrumentos, uno de los cuales y el más usado es la PC, debido a su facilidad y flexibilidad que le proporciona al usuario, en la PC se lleva a cabo la instrumentación virtual que consiste en mostrar de forma gráfica la información recabada por los elementos del sistema.

El sistema de medida más sencillo consiste en un dispositivo de medida que además visualiza el valor medido, si se desea indicar el valor medido en un punto situado a cierta distancia del punto de medida es preciso introducir un medio de transmisión de información entre el sistema de medida y el sistema de visualización. [11]

a) Sistemas electrónicos básicos de medida

El transductor o comúnmente llamado sensor, convierte una magnitud física en una magnitud eléctrica en su salida, se acondiciona la señal que transforma la señal del transductor en una magnitud eléctrica adecuada a las exigencias de entrada del dispositivo visualizador, los elementos anteriores son alimentados por una fuente de alimentación que proporciona la energía eléctrica necesaria y adecuada para el circuito, para poder observar la información sobre la magnitud a medir se requiere de un dispositivo visualizador. [10]

b) Sistema de medida de datos múltiples

En este tipo de sistemas se pueden utilizar transductores del mismo tipo o de distinto tipo, el sistema más sencillo es aquel en el que el transductor que se desea leer es seleccionado manualmente, si se quiere visualizar una serie de magnitudes medidas en un monitor durante intervalos cortos de tiempo, lo podemos conseguir mediante un secuenciador automático que explore las salidas de los transductores. [10]

c) Sistemas de telemetría

Este término está usualmente reservado para los sistemas de medida múltiple que utilizan una portadora de alta frecuencia modulada para transmitir la información desde un punto a otro, este modo se suele transmitir vía radio. [10]

d) Sistemas de control:

Los sistemas de control son utilizados para controlar un proceso de algún sistema, puede ser de forma automática de forma manual, los diferentes tipos de control son:

- Control proporcional: Este tipo de control calcula la diferencia entre la señal de variable de proceso y la señal de error, en otras palabras, la salida de un controlador proporcional (P_{out}) es el resultado del producto entre la señal de error $e(t)$ y la ganancia proporcional (K_p). [4]

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (2.1)$$

- Control derivativo: Este tipo de control (K_d) se manifiesta cuando hay un cambio del error, la función de la acción derivativa (de/dt) es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce, de esta manera se evita que el error se incremente. [4]

$$D_{sal} = K_d \frac{de}{dt} \quad (2.2)$$

- Control Integral: Tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario $e(t)$ provocado por el modo proporcional integral (K_i), actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional. [4]

$$I_{sal} = K_i \int_0^t e(t) \quad (2.3)$$

2.2.1 Instrumentación virtual

La tecnología ha evolucionado muy rápido, de tal forma que surge la instrumentación virtual que consiste en una computadora personal como instrumento de medición de señales tales como temperatura, presión, caudal, entre otras. Es decir la PC comienza a ser utilizada para realizar mediciones de fenómenos físicos representados en señales de corriente y voltaje normalmente con una gran presión y número de muestras por segundo. [21]

También involucra el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de la información relacionada con la medición de una o más señales específicas. Con estas, mediante un software que permitan la implementación de algoritmos de control, es factible integrar y controlar complicados procesos. En la Figura 2.2, se ilustra, las etapas de procesamiento de los sistemas de instrumentación, el instrumento virtual no se conforma con la adquisición de la señal, sino que también involucra la interfaz hombre-máquina, las funciones de análisis y procesamiento de señales. [h]

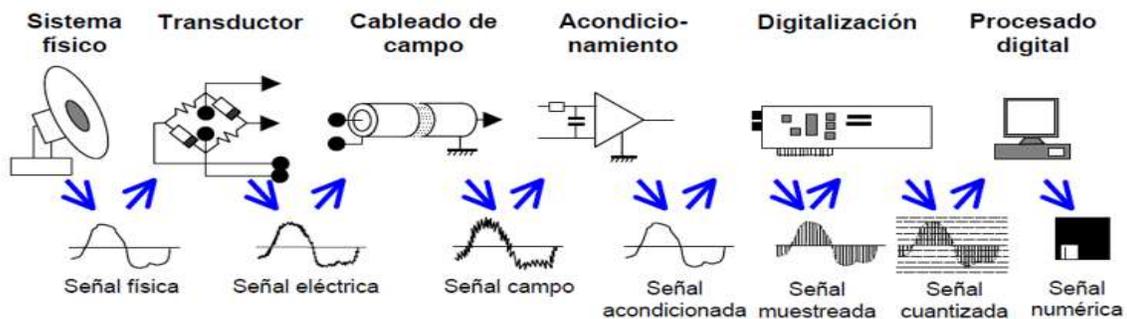


Figura 2.2. Etapas de Procesamiento de los Sistemas de Instrumentación. [h]

La principal diferencia entre un equipo de instrumentación convencional y una PC, es que mientras el convencional los datos de medida son generados uno por uno y deben ser interpretados por el operador y en la instrumentación por medio de la PC se pueden registrar grandes cantidades de información de forma automática y luego presentarla de forma integrada y amigable al operador.

La instrumentación virtual requiere el uso de transductores y circuitos analógicos que acondicionen la señal a los niveles adecuados para ser decodificada en las mejores condiciones por el convertidor A/D, sin embargo, el procesado, elaboración y presentación del resultado en la medida se realizan utilizando software. Con la incorporación de la PC, las señales que se adquieren pueden ser procesadas sin límite de complejidad sofisticación utilizando técnicas numéricas, a fin de acondicionarla y extraer de ella la información. Así mismo, la información puede ser procesada utilizando métodos estadísticos. [i]

La PC proporciona una amplia gama de recursos para almacenar la información que se adquiere, así como para presentarla utilizando técnicas numéricas y gráficas, la PC presenta grandes ventajas:

- La mayor capacidad para procesar, almacenar y presentar la información que se obtiene al poder utilizar métodos numéricos.
- Menor costo que resulta de la estandarización del hardware que se requiere para construir los equipos.

2.3 Puente de Wheatstone

El puente de Wheatstone es un circuito inicialmente descrito en 1833 por Samuel Hunter Christie (1784-1865). No obstante, fue el Sr. Charles Wheatstone quien le dio muchos usos cuando lo descubrió en 1843. Como resultado este circuito lleva su nombre. Es el circuito más sensitivo que existe para medir una resistencia. Denominado también puente de hilo es un instrumento de gran precisión que puede operar en corriente continua o en alterna. [13]

Los procedimientos denominados métodos de cero, o también, puentes de medida, son los de máxima precisión y, por lo tanto, los más empleados en laboratorios de medida y cuando se requiere una elevada exactitud. En estos procedimientos, se determina el valor de la magnitud buscada mediante la comparación de la misma con los valores de patrones regulables de resistencias, reactancias, etc. La comparación resultará válida cuando el aparato indicador (generalmente un galvanómetro) indique cero (corriente nula) en una determinada rama del circuito de medida. [13]

Los valores obtenidos con estos procedimientos no están afectados por los errores ni por la calibración del aparato indicador que se utilice. La exactitud de la medida también es independiente del valor de la tensión utilizada para la medida. El circuito utilizado en estos métodos de medida es un cuadripolo con dos bornes de entrada y dos bornes de salida que recibe el nombre de puente. En los bornes de entrada se conecta la fuente de alimentación y en los bornes de salida el instrumento medidor, el cual ha de ser muy sensible. [13]

El circuito además de la fuente de alimentación de corriente continua y el indicador está constituido por cuatro resistencias. En este puente se podrá variar adecuadamente uno o más parámetros del circuito y obtener un estado de equilibrio en el cual desaparece la diferencia de potencial entre los bornes a los cuales está conectado en dispositivo indicador de cero.

2.3.1 Modelo matemático del Puente de Wheatstone

La Figura 2.3, muestra la conexión del puente de Wheatstone, donde R_x es la resistencia cuyo valor requerimos determinar, R_1 , R_2 y R_3 son resistencias de valores conocidos, además la resistencia R_2 es ajustable. [15]

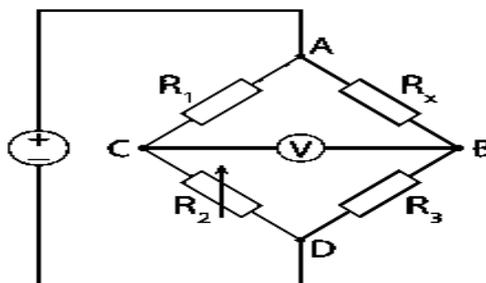


Figura 2.3. Conexión del Circuito Puente de Wheatstone. [13]

$$\text{si: } \frac{R1}{R2} = \frac{Rx}{R3} \quad (2.4)$$

Entonces el voltaje (V_o) entre los dos puntos medidos será nulo y por tanto no circulará corriente alguna entre esos dos puntos C y B. Para efectuar la medida, lo que se hace es variar la resistencia R_2 hasta alcanzar el punto de equilibrio. La detección de corriente nula se puede hacer con gran precisión mediante el galvanómetro. [15]

Por lo tanto tenemos:

$$V_o = V_C - V_B \quad (2.5)$$

$$V_o = \frac{R2}{R1 + R2} * VDC - \frac{R3}{Rx + R3} * VDC \quad (2.6)$$

$$V_o = \left(\frac{R2}{R1 + R2} - \frac{R3}{Rx + R3} \right) * VDC \quad (2.7)$$

Para obtener el puente balanceado $V_o = 0V$

$$\frac{R2}{R1 + R2} = \frac{R3}{Rx + R3} \quad (2.8)$$

$$R_2(R_x + R_3) = R_3(R_1 + R_2) \quad (2.9)$$

$$R_2 R_x + \cancel{R_2 R_3} = R_3 R_1 + \cancel{R_3 R_2} \quad (2.10)$$

$$R_2 R_x = R_3 R_1 \quad (2.11)$$

$$R_x = \frac{R_3 R_1}{R_2} \quad (2.12)$$

2.4 Transductor

Son elementos que transforman una magnitud física en una señal eléctrica. Se pueden clasificar en dos grupos: activos y pasivos. Son transductores activos se conectan a una fuente externa de energía eléctrica para que puedan responder a la magnitud física a medir, por ejemplo los electromagnéticos, fotovoltaicos y son pasivos los que directamente dan una señal eléctrica como respuesta a la magnitud física como los capacitivos, inductivos y resistivos. [19]

2.4.1 Transductores de parámetro variable (Pasivos)

El grupo más importante de los transductores es quizás el de parámetro variable o pasivo, que se caracterizan por proporcionar una salida relacionada con la variación de un determinado parámetro eléctrico pasivo, originada a su vez por la variación del fenómeno físico que se desea medir. Son de gran robustez y simplicidad de construcción. Los transductores pasivos se dividen en 3 tipos los cuales son:

- **Capacitivos:** Son aquellos que convierten un cambio de la magnitud a medir en un cambio de capacitancia, a un condensador de placas paralelas, al variar sus parámetros da como resultado un cambio en su valor nominal, por lo tanto, puede ocasionar movimiento de uno de los electrodos, acercándose o alejándose del otro variando el área de las placas o por cambio del dieléctrico situado entre las dos placas. Suelen medir desplazamientos de nivel de líquido (dieléctrico variable). [19]
- **Resistivos:** Convierten un cambio en la magnitud a medir en un cambio en la resistencia, los cambios en la resistencia pueden realizarse por diferentes medios, como por movimientos en el contacto móvil de un reóstato, por aplicación de esfuerzos mecánicos, por cambios de temperatura, etc. Los elementos usados para dicho cambio son: potenciométricos, galgas extensiométricas, termoresistivos, fotoresistivos o fotoconductores. [19]

- **Inductivos:** Convierten un cambio de la magnitud en un cambio de la autoinductancia de un devanado único. La inductancia de una bobina depende de la manera en que las líneas de flujo magnético atraviesen sus arrollamientos. Los cambios de inductancia pueden efectuarse mediante el movimiento de un núcleo ferromagnético interior al devanado (permeancia variable) o mediante cambios de flujo introducidos externamente en un devanado con un núcleo fijo (reluctancia variable). [19]

2.4.2 Transductores autogeneradores (activos)

Son aquellos que producen una señal eléctrica (sin necesidad de alimentación externa) cuando son estimulados por alguna forma física de energía: electromagnéticos, fotovoltaicos, fotoeléctricos, termoelectrónicos y piezoeléctricos. Aquellos que necesitan algún elemento adicional en la transducción, son los transductores pasivos. [19]

- **Electromagnéticos:** Convierten un cambio de la magnitud a medir en una fuerza electromotriz (tensión de salida) inducida en el conductor, debido a un cambio en el flujo magnético en ausencia de excitación. El cambio en el flujo magnético se realiza usualmente por un movimiento relativo entre el electroimán y un imán o porción de material magnético. [19]
- **Fotovoltaicos:** Son transductores activos que convierten un cambio de iluminación incidente sobre una unión semiconductor en un cambio en la tensión generada en dicha unión. El ejemplo más típico es el de las células solares fotovoltaicas (fotodiodos). [19]
- **Fotoeléctricos:** Convierten la radiación incidente sobre algunos materiales como los metales en emisión de electrones, que pueden configurar una corriente eléctrica, añadiendo un generador externo y una resistencia. [19]

- **Termoeléctricos:** Convierten la diferencia de temperatura existente entre las uniones de dos materiales distintos seleccionados, en un cambio de la fuerza electromotriz generada (efecto Seebeck). [19]
- **Piezoeléctricos:** Convierten un cambio en la magnitud a medir en un cambio en la carga electrostática o tensión generada por ciertos materiales (algunos cristales como el cuarzo y materiales cerámicos) cuando se encuentran sometidos a un esfuerzo mecánico. También se da el fenómeno inverso, es decir, cuando se aplica una tensión eléctrica a un material piezoeléctrico, se obtiene una deformación. En la siguiente Figura 2.4, se observa un transductor pasivo (galga extensiométrica) y un transductor activo (zumbador). [19]

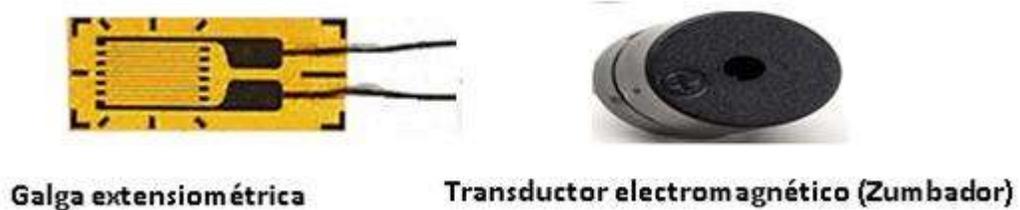


Figura 2.4. Transductores Pasivos y Activos.

2.5 Termistor

Es un semiconductor cerámico, es el transductor de temperatura con mayor sensibilidad, con respecto a otros termómetros. Tiene el cambio de parámetro más grande con la temperatura. Hay termistores disponibles con coeficientes de temperatura positiva (PTC) y negativo (NTC). El primero se utiliza para mediciones de temperatura elevada y limitadores de corriente. [10]

La resistencia eléctrica del termistor es una función de su temperatura, la cual depende, tanto de la temperatura ambiente o atmosférica como de la disipación de potencia interna. Los termistores están hechos de materiales semiconductores y los que comúnmente se encuentran tienen coeficientes de temperatura entre -5 % y +60 % grados Kelvin. El signo del coeficiente de temperatura distingue los tipos básicos de termistores. [10]

2.5.1 Termistor de coeficiente negativo (NTC)

Estos termistores de óxido pueden hacerse para rangos de resistencia a la temperatura que van desde pocos ohms hasta mega-ohms y sus coeficientes de resistencia usualmente caen entre -4 % y -5% grados Kelvin. Normalmente en los termistores NTC, la dependencia de la resistencia con la temperatura, sigue aproximadamente una ley exponencial. [10]

La mayoría de los termistores son dispositivos de dos terminales, aunque los hay de tres y cuatro terminales. Hay termistores de diferentes formas y tamaños aunque son normalmente pequeños. Han sido desarrollados varias geometrías para aplicaciones particulares, y se refieren a las diferentes formas de encapsulado. Los termistores son ampliamente usados en la industria, siendo el NTC el más común, ya que tiene una mejor característica donde se requiere una mejor solución analítica. Esto es debido a que la dependencia resistencia-temperatura está representada por una función exponencial, con los NTC tampoco hay problemas con el comportamiento no lineal en los contactos. [10]

2.5.2 Termistor de coeficiente positivo (PTC)

Los termistores de coeficiente de temperatura positivo (PTC), están hechos de dos clases de material: componentes que tienen estructuras de titanato de bario y semiconductores tipo silicón. El rango de temperatura en el cual el termistor del tipo de titanato de bario tiene un coeficiente positivo de resistencia a la temperatura puede ser muy grande, aproximadamente 60 % por grado kelvin y está determinado por su composición.

Los termistores PTC son comparativamente más nuevos, no pueden ser especificados en forma precisa para trabajos analíticos y tienen un coeficiente de resistencia con la temperatura el cual depende marcadamente de la variación de temperatura. Sin embargo, para rangos limitados este puede ser muy grande, lo cual lo hace atractivo para aplicaciones en circuitos de control. En la Figura 2.5, se muestra la gráfica de resistencia contra temperatura y se observa que los termistores NTC no son lineales. [10]

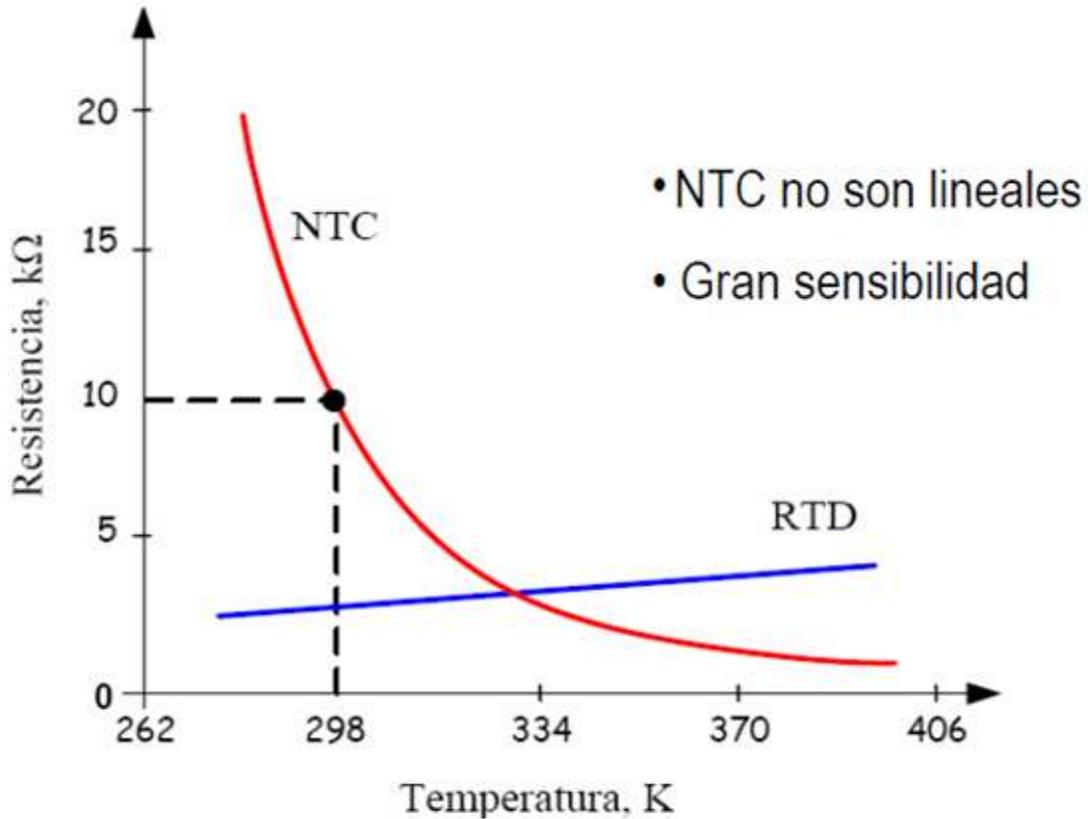


Figura 2.5. Gráfica de Resistencia Vs Temperatura de NTC y RTD. [g]

Se observa que la relación entre resistencia y la temperatura no es lineal, sobre todo cuando se considera un margen de temperatura amplio. La sensibilidad es muy grande a bajas temperaturas y va disminuyendo conforme aumenta esta, una sensibilidad alta es una característica muy deseable de cualquier sensor; de hecho, es la mayor ventaja de los termistores frente a otros sensores de temperatura.

2.5.3 Modelo matemático del termistor

Se obtiene la ecuación y se define por: (P) que es la potencia disipada en el termistor, (δ) es constante de disipación, (T) es la temperatura del termistor, (T_A) es la temperatura ambiente, (C) es la capacidad de calor.

$$P = \delta(T - T_A) + C(dT/dt) \quad (2.13)$$

La solución de esta ecuación para (P) constante, la $\Delta T = T - T_A$ es el aumento de temperatura:

$$\Delta T = T - T_A = \left(P / \delta \right) \left(1 - e^{-\frac{\delta}{C} t} \right) \quad (2.14)$$

Cuando el termistor alcanza la condición de equilibrio se convierte en:

$$P = \delta(T - T_A) \quad (2.15)$$

Otra característica eléctrica importante de los termistores es la característica resistencia vs temperatura, donde (R) es la resistencia del termistor, (β) es una constante del material y (R_0) es la resistencia del termistor a la temperatura en Kelvin y se expresa como:

$$R = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (2.16)$$

La respuesta transitoria está regida por la siguiente ecuación:

$$C \frac{dT}{dt} + K (T - T_A) = P \quad (2.17)$$

Esta ecuación puede reescribirse así:

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T - T_A}{\tau} = \frac{P}{C} \quad (2.18)$$

2.6 RTD

Una característica de los metales es que su resistencia eléctrica es función de la temperatura del metal. Así, un alambre metálico de longitud (l), combinado con un dispositivo de medición de resistencia es un sistema de medida de temperatura. Los sensores de temperatura basados en el efecto de la resistencia de un metal se conocen como detectores de temperatura resistivos (RTD). Los RTD se usan para medir directamente la temperatura, tienden a ser muy estables. Por otra parte, las sondas RTD son en general físicamente más grandes que el termopar, resultando en una resolución espacial más pobre y una respuesta transitoria más lenta. [6]

Los sensores RTD más comunes se construyen de platino, aunque se pueden utilizar otros metales incluyendo el níquel y aleaciones de níquel. Para el platino la relación resistencia temperatura está dada por la ecuación (*Callendar-Van Dusen*):

$$R_T = R_0 \{1 + \alpha [T - \delta(0.01T - 1)(0.01T) - \beta(0.01T - 1)(0.01T)^3]\} \quad (2.19)$$

Donde α , β y δ son constantes, dependientes de la pureza del platino la cual e determina por calibración. La constante dominante es α , la cual tiene un valor de $0.003921 \text{ } ^\circ\text{C}$ para la denominada recta de calibración (americana). En la Figura 2.6, muestra la calibración que se maneja con los valores de, $\delta = 1.49$ y $\beta = 0$ para $T > 0$, y $\beta = 0.11$ para $T < 0$. Fácilmente se puede adquirir los sensores correspondientes a cada recta.

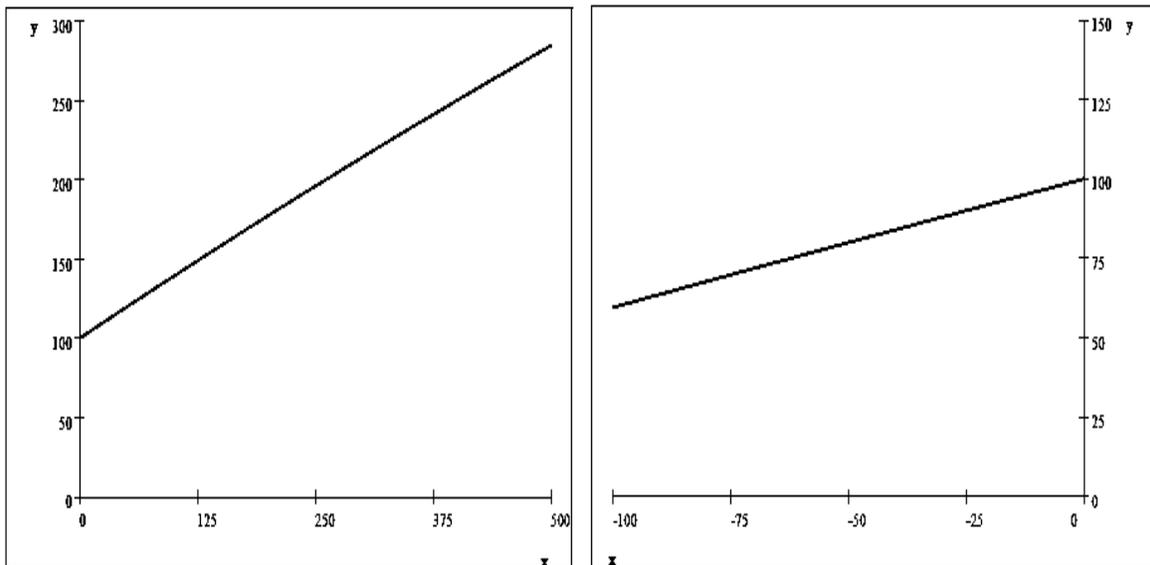


Figura 2.6. Respuesta para $T > 0$ y Respuesta para $T < 0$.

Una de las características importantes que define el comportamiento de una RTD es el diámetro y la longitud del alambre utilizado para su construcción, estos parámetros afectan directamente su resistencia. Esta característica es indicada mediante el valor de resistencia nominal en un punto determinado de la escala termométrica. Estos valores son fijados por distintas instituciones de acuerdo a la aplicación en la cual será utilizada la RTD. En la siguiente Tabla 2.1, muestra los metales más usados para su fabricación. [6]

Tabla 2.1. Metales más usados para la fabricación de RTD.

<i>Metal</i>		<i>Rango temperatura</i>	<i>AlPha (α)</i>	<i>Comentarios</i>
Cobre	Cu	-200°C a 260°C	0.00427	Bajo costo
Molibdeno	Mo	-200°C a 200°C	0.00300 0.00385	Bajo costo, alternativo del platino en rangos bajos de temperatura
Níquel	Ni	-80°C a 260°C	0.00672	Bajo costo, rango limitado de temperatura
Níquel-Hierro	Ni-Fe	-200°C a 200°C	0.00518	Bajo costo
Platino	Pt	-240°C a 660°C	0.00385 0.00392 0.00377	Buena precisión. Es posible extender el rango de temperatura a 1000°C

Existen 3 formas de conexión de las RTD: [10]

- a) **De dos hilos:** Un RTD reemplaza a uno de los elementos del puente y causa un desbalance y cambios de resistencia. La salida se lee directamente. Si un RTD está localizado entre el transmisor y el puente, entonces es conectada por dos conductores de un material más económico como el cobre. La ecuación del puente quedaría:

$$\frac{R_1}{R_g + 2R_c} = \frac{R_2}{R_3} \quad (2.20)$$

- b) **Circuito RTD tres hilos:** Para eliminar el error introducido por los hilos conectores se usa comúnmente un RTD de tres hilos con este propósito los efectos de la resistencia de cada uno de los hilos conductores (R_c) son eliminados por el puente debido a que cada una es la conexión opuesta del puente. La ecuación del puente será:

$$\frac{R_1}{R_g + R_c} = \frac{R_2}{R_3 + R_c} \quad (2.21)$$

Haciendo $R_1 = R_2$ no sólo maximizamos la sensibilidad sino que además nos quedara en equilibrio que $R_3 = R_g$, eliminando así la resistencia de los conductores.

c) **Circuito RTD de cuatro hilos:** La vía más efectiva para eliminar los efectos de los hilos conductores es con cualquiera de las versiones de cuatro hilos con fuente de corriente independiente. Es un método que no requiere puente. La Figura 2.7, muestra las diferentes formas de conexión del RTD de dos hilos, tres hilos y cuatro hilos.

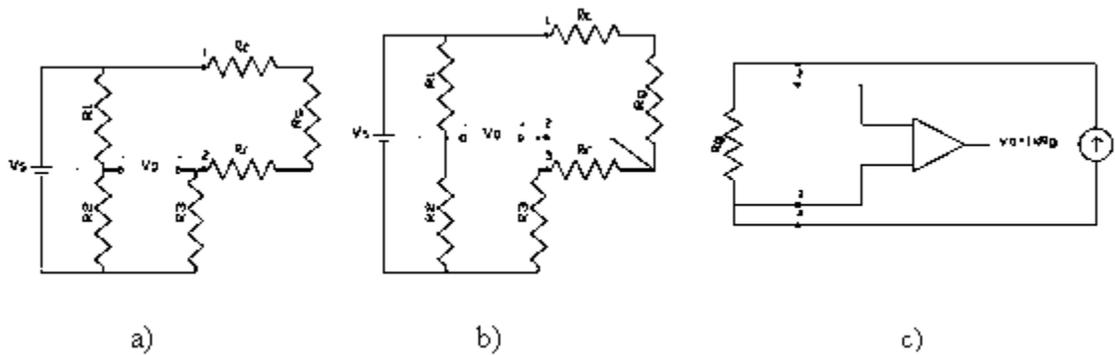


Figura 2.7. Formas de Conexión de los RTD: a) Dos Hilos, b) Tres Hilos y c) Cuatro Hilos.

2.7 Termopar

Es un dispositivo para la medición de temperatura, basado en efectos termoeléctricos, está formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, unidos en sus extremos y entre las uniones existe una diferencia de temperatura, que origina una fuerza electromotriz. [g]

La fuerza electromotriz generada por el termopar está en función de la diferencia de temperatura entre la unión fría y caliente.

- **Efecto Seebeck:** Este efecto sucede cuando las uniones de dos conductores se unen por sus extremos para formar un circuito, y se colocan en un gradiente de temperatura, se manifiesta un flujo de calor y un flujo de electrones conocido como corriente de Seebeck. La fuerza electromotriz (FEM) que genera la corriente se conoce como fuerza electromotriz de termopar o tensión Seebeck. [a]

El coeficiente Seebeck (S) se define como la derivada de dicha tensión (E) con respecto a la temperatura (T):

$$S = \frac{dE}{dT} \quad (2.22)$$

En la Figura 2.8, se muestra cómo se produce el efecto Seebeck de la unión de dos metales diferentes:

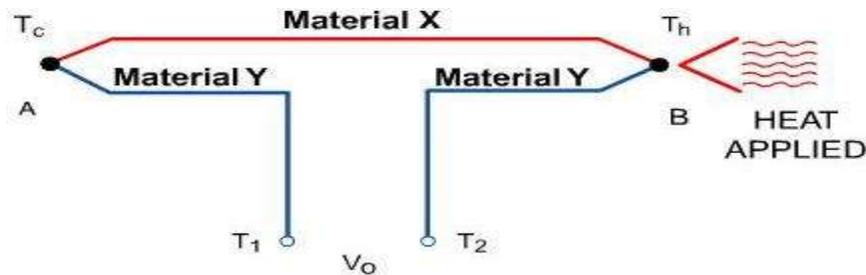


Figura 2.8. Efecto Seebeck. [a]

- **Efecto Peltier:** Descubierta por C. A. Peltier en 1834, consiste en el calentamiento o enfriamiento de una unión entre dos metales distintos al pasar corriente por ella. Al invertir el sentido de la corriente se invierte también el sentido del flujo de calor. Este efecto es reversible e independiente del contacto. Depende solo de la composición y de la temperatura. La Figura 2.9, se muestra cómo se produce el efecto Peltier. [g]

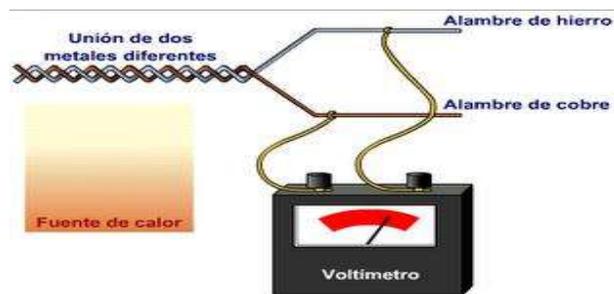


Figura 2.9. Efecto Peltier. [g]

- **Efecto Thompson:** Consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor homogéneo con temperatura no homogénea por el que circula una corriente. [g]

El calor liberado es proporcional a la corriente y por ello, cambia de signo al hacerlo el sentido de la corriente. Se absorbe calor si la corriente y el calor fluyen en direcciones opuestas, y se libera calor si fluyen en la misma dirección. [g]

En la Figura 2.10, se muestra el efecto Thompson que es provocado por la liberación de calor.

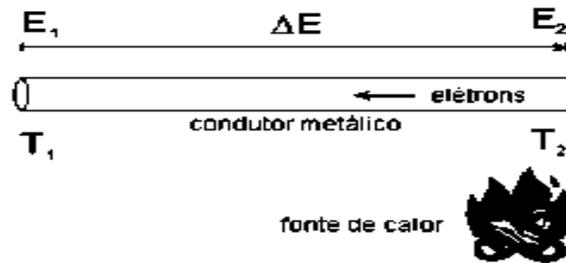


Figura 2.10. Efecto Thompson. [g]

La magnitud de la FEM depende de los materiales de los conductores utilizados por el termopar y de sus condiciones metalúrgicas, en la Tabla 2.2, se muestran los tipos de termopares.

Tabla 2.2. Tipos de Termopares.

Tipo	Alcance Temperatura °C	Materiales y Aleaciones
Metal-Base		
E	-270 a 1000	Níquel-Cromo Vs cobre-Níquel
J	-270 a 1200	Hierro Vs Cobre-Níquel
T	-270 a 400	Cobre Vs Cobre-Níquel
K	-270 a 1372	Níquel-Cromo Vs Níquel-Aluminio
N	-270 a 1300	Níquel-Cromo-Silicio Vs Níquel-Silicio-Magnesio
Metal – Noble		
R	-50 a 1768	Platino - 13 % Rodio Vs Platino
S	-50 a 1768	Platino - 10 % Rodio-Platino
B	0 a 1820	Platino – 30 % Rodio Vs Platino – 6 % Rodio

2.8 Circuito integrado

Los sensores de circuito integrado se caracterizan por la unión p-n de los semiconductores. Están formados por circuitos integrados sobre un chip, el cual presenta una salida lineal y proporcional a la temperatura. Se consiguen sensores de circuito integrado que presentan salidas en voltaje analógico y en forma digital. Por estar hechos a base de silicio, su rango de temperatura está limitado aproximadamente a los 150 °C. [18]

Una de las principales ventajas de los sensores de CI es su fácil configuración. Entre las desventajas se tiene; el limitado rango de temperatura, la necesidad de alimentación y auto calentamiento. Existen una amplia variedad de integrados sensores de temperatura. Estos sensores se pueden agrupar en cuatro categorías principales: 1) salida de voltaje, 2) salida de corriente, 3) salida digital y 4) diodos simples. [18]

Con salida de voltaje podemos encontrar los más comunes, uno de ellos es el LM35 y LM34 que este último mide en grados Fahrenheit, con salida de corriente el más común es el AD590, con salida digital los más conocidos son el LM56 y LM75 y los de salida de resistencia son menos comunes. [e]

El sensor de CI de temperatura LM35 tiene características buenas; cuenta con una precisión calibrada de 1 °C y un rango que abarca desde -55 ° a 150 °C, además de que su salida es lineal y equivale a 10mV / °C, esta calibrado directamente en grados Celsius, es de bajo costo, opera entre 4 y 30 volts de alimentación. En la Figura 2.11, se muestra el encapsulado LM35 con su configuración. [e]

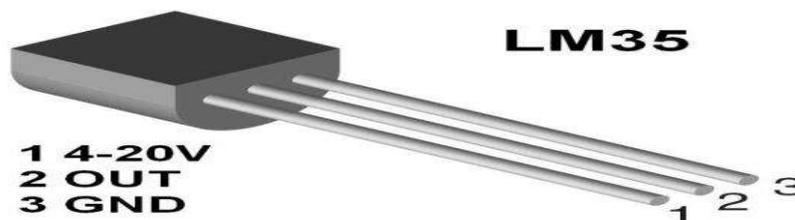


Figura 2.11. Sensor de temperatura en circuito integrado más común LM35. [e]

Capítulo 3

La tarjeta HUMUSOFT AD-622 y Real Time Toolbox

La tarjeta de adquisición de datos AD-622 es compatible con Real Time Windows para MATLAB, ofrece la mayoría de las funciones requeridas en control de procesos o aplicaciones de medida.

La tarjeta de adquisición de datos HUMUSOFT AD-622 está diseñada por la necesidad que existe de enviar información de señales electrónicas a la computadora, realiza la interfaz requerida para comunicar la PC con el mundo exterior y viceversa. Esta tarjeta cuenta con canales de entrada y salida, analógicas y digitales, cuenta con circuitos de muestreo y retención para realizar las conversiones A/D y D/A con lo que se ofrece la adquisición de datos y aplicaciones de control estandarizadas para su uso con la herramienta computacional Real Time Toolbox de SIMUNLINK. En la Figura 3.1, se muestra la tarjeta HUMUSOFT AD-622 con la herramienta computacional SIMULINK. [3]

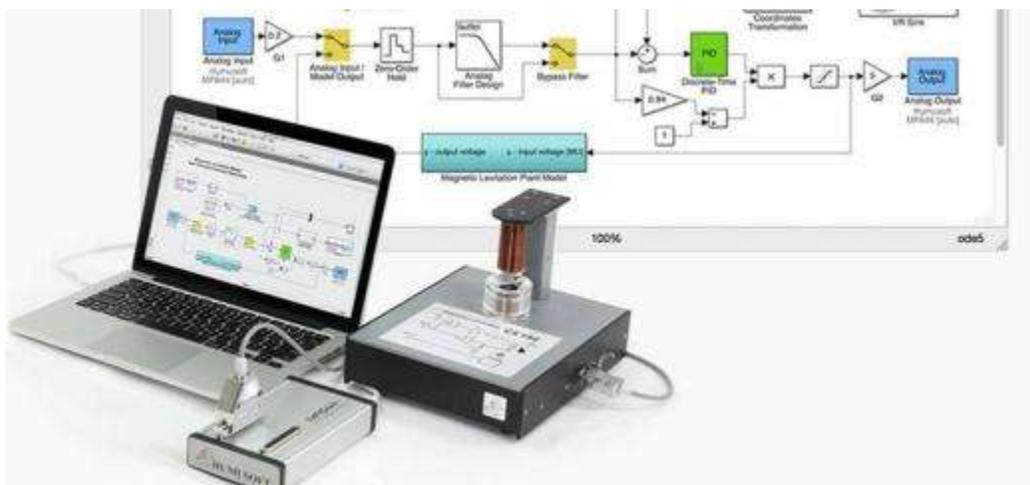


Figura 3.1. Tarjeta HUMUSOFT AD-622 con SIMULINK. [3]

3.1 Lista de características

La tarjeta AD-622 tiene las siguientes características: [2]

- Arquitectura de 32 bits.
- Convertidor de 14 bits con circuitos de muestreo y retención simultáneos.
- Tiempo de conversión de 1.6 μ s para un sólo canal ó 3.7 μ s para 8 canales.
- 8 canales de entrada analógica multiplexados con protección individual.
- Rango de entrada analógica bipolar $\pm 10V$.
- Reloj interno y referencia de voltaje.
- 8 convertidores D/A con resolución de 14 bits y rango de salida de $\pm 10V$.
- 8 puertos de entrada digital compatible con TTL.
- 8 puertos de salida digital compatible con TTL.
- Interruptor interno.
- Requiere una ranura PCI 2.3.
- Puede ser usada en ranuras de 5V ó 3.3V.
- Consumo de energía de 500mA a 5V, 150mA a 12V, 150mA a -12V.
- Temperatura de operación de 0 a 70 °C.

3.2 Especificaciones

Las especificaciones de los convertidores A/D y D/A se describen a continuación como también las entradas y salidas digitales con las que cuenta la tarjeta de adquisición de datos HUMUSOFT AD-622, se detallan las características de los parámetros antes mencionados para un mejor manejo y entendimiento del proceso que se lleva a cabo en la tarjeta. [2]

A continuación se muestran las características del manual de usuario resaltando los parámetros de operación de las diferentes etapas que se llevan a cabo en la tarjeta HUMUSOFT AD-622.

3.2.1 Convertidor A/D

En la automatización e instrumentación industrial, se producen señales analógicas que varían constantemente, con variaciones que pueden ser muy rápidas o lentas, estas señales no son fáciles de tratar, por lo que se recurre al convertidor A/D que realizan el paso de señales analógicas a digitales, asignando a cada nivel de tensión un número digital para ser utilizado por el sistema de procesamiento. Las características fundamentales de un convertidor A/D son la precisión y la velocidad. [2]

La resolución se define como la razón de cambio del valor en el voltaje de entrada (V_{in}), que se requiere para cambiar en 1LSB (bit menos significativo) en la salida digital. Esto es cuando se conoce el valor de (V_{in}) voltaje de entrada a escala completa. Donde (a) es el número de bits, de tal manera que nuestra ecuación de resolución será:

$$Resolución = \frac{V_{in}}{2^a - 1} \quad (3.1)$$

En la Tabla 3.1, se muestran las especificaciones del convertidor A/D.

Tabla 3.1. Especificaciones del convertidor A/D. [2]

Resolución	14 bits
Número de canales	8 terminales sencillas
Muestreo/Retención	Muestreo simultaneo para todos los canales
Tiempo de conversión	1.6 μ s para un solo canal, 1.9 μ s para 2 canales, 2.5 μ s para 4 canales y 3.7 μ s para 8 canales
FIFO	8 entradas un ciclo de conversión
Rangos de entrada	$\pm 10V$
Protección de entrada	$\pm 18V$
Impedancia de entrada	$> 10^{10} \Omega$

3.2.2 Convertidor D/A

En los sistemas digitales, la información que se está procesando se presenta en forma binaria, para actuar sobre el medio externo, debe ser convertida a un valor de tensión analógica capaz de ser procesada por un sistema electrónico como elemento actuador. El proceso es realizado por un conversor digital-analógico, dicho proceso es justamente el inverso al que realiza el conversor analógico-digital. Se parte de muestras en formato digital (valores discretos), y éstas se deben convertir en una señal analógica (valores continuos). [2]

El conversor D/A asocia a cada valor binario un nivel de tensión previamente establecido y genera muestras de tensión utilizando dichos niveles, aplicando un intervalo de tiempo constante entre muestras, para ello se debe unir cada muestra con la que le sigue, dicha unión es necesaria para hacer que la señal vuelva a ser continua en el tiempo, existen técnicas que hacen esto posible, la más sencilla consiste en mantener el nivel de tensión de una muestra hasta que llegue la muestra siguiente. Otras técnicas más complejas emplean la muestra actual y las muestras anteriores para predecir la siguiente muestra. En la Tabla 3.2, se muestran las especificaciones generales del convertidor D/A. [2]

Tabla 3.2. Especificaciones del convertidor D/A. [2]

Resolución	14 bits
Número de canales	8 terminales sencillas
Tiempo de establecimiento	Máx. 31 μ s (escala de oscilación, $\frac{1}{2}$ LSB)
Velocidad de respuesta	10V/ μ s
Corriente de salida	Mín. ± 10 mA
Corriente de corto circuito	± 15 mA
Impedancia de salida de CD	Máx. 0.5 Ω
Capacitancia de carga	Máx. 50 pF
Diferencial de no linealidad	± 1 LSB

3.2.3 Entradas digitales

Las entradas digitales son variaciones de voltaje entre $-V_{cc}$ a $+V_{cc}$ sin pasar los valores intermedios. Por lo tanto, una entrada digital dispone solo de dos estados. Al valor inferior de tensión ($-V_{cc}$) lo asociamos con un valor lógico "0", mientras que el valor superior ($+V_{cc}$) lo asociamos "1" lógico. [2]

Una entrada digital realiza una comparación de la medición con un valor de tensión umbral. Si el valor medido es superior a la tensión umbral se devuelve "1", y si es inferior "0". El valor de tensión umbral varía de un autómata a otro. Las entradas digitales están basadas en el protocolo TTL el cual condiciona los parámetros que componen la señal digital. En la Figura 3.2, se muestra la conexión de entradas digitales monitoreadas por leds. [2]

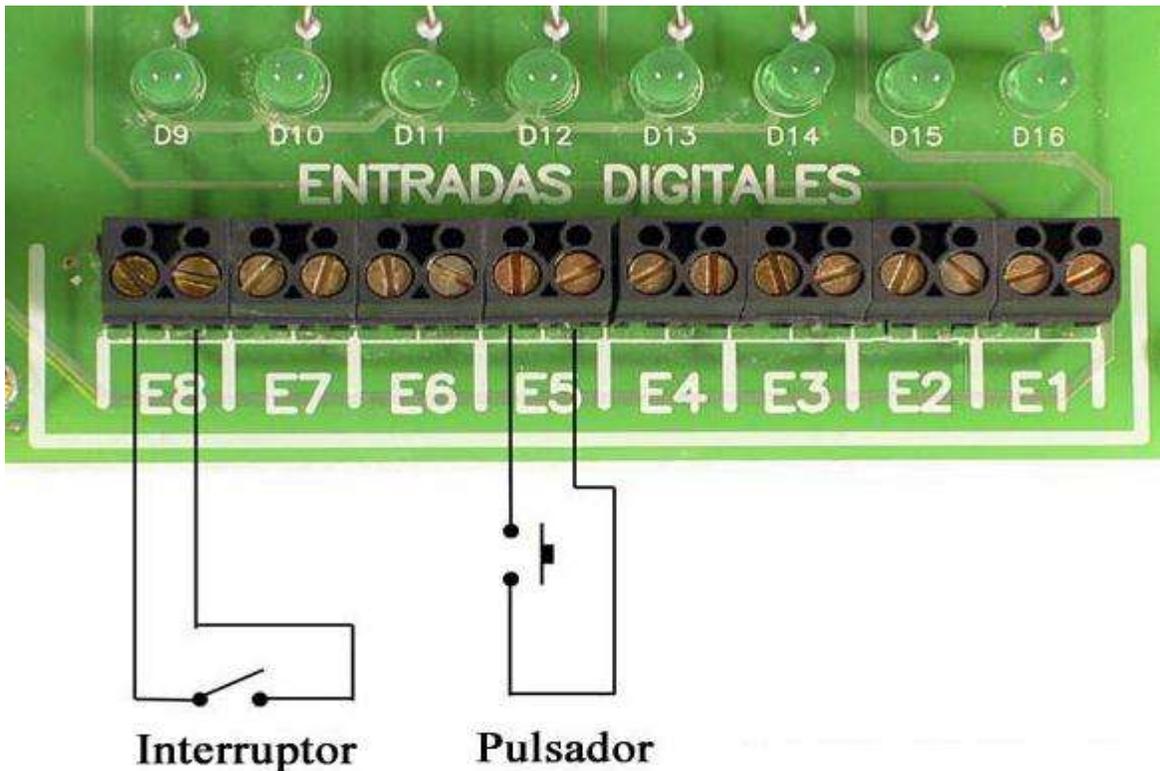


Figura 3.2. Conexión de las entradas digitales tanto con pulsador como con interruptor. [c]

3.2.4 Salidas digitales

Las salidas digitales de la misma manera que las entradas digitales se rigen por TTL, las salidas reciben información desde la placa con “0” o “5” volts, en la Tabla 3.3, se manejan los parámetros generales de voltajes máximos y mínimos y las corrientes. [2]

Tabla 3.3. Especificaciones de las salidas digitales.

Número de bits	8
Niveles de la señal	TTL
0 lógico	Máx.0.5 V a 24 mA
1 lógico	Mín. 2.0 V a 15 mA

3.3 Aplicaciones de la tarjeta HUMUSOFT AD-622

La tarjeta de adquisición de datos es utilizada en muchos aspectos de procesos industriales ya que es compatible con el programa MATLAB (SIMULINK) que tiene la característica de manejar datos en tiempo real, esto facilita el control de la variable a controlar, con esto se puede utilizar de manera práctica y más eficiente, se puede utilizar en la PC (computadora de escritorio) y en portátiles (Laptop), las aplicaciones donde se utiliza son las siguientes:

- Medición de la tensión DC.
- Transductor y el sensor de interconexión.
- Vibración y análisis de transitorios.
- Seguimiento y control de proceso.
- Adquisición y análisis de forma de onda.
- Multicanal adquisición de datos.
- Simulación en tiempo real.
- Salida de voltaje programable.

3.3.1 Descripción de la señal de salida HUMUSOF AD-622

La tarjeta de adquisición de datos HUMUSOFT AD-622 se inserta en el puerto PCI de la PC de escritorio, el conector externo de la tarjeta es hembra tipo D de 37 pines para realizar la conexión de los canales de entrada y salida requeridos. En la Tabla 3.4, se muestran los pines de entrada de la tarjeta HUMUSOFT AD-622. [2]

Tabla 3.4. Pines de la tarjeta HUMUSOFT AD-622. [2]

AD0-AD7	Entradas analógicas
DA0-DA7	Salidas analógicas
DIN0-DIN7	Entradas digitales compatibles con TTL
DOUT0-DOUT7	Salidas digitales compatibles con TTL
+12 v	Fuente de (+12v)
-12 v	Fuente de (-12v)
+5 v	Fuente de (+5v)
AGND	Tierra analógica
GND	Tierra digital

En la Tabla 3.5, se muestra la asignación de los pines de la tarjeta DAQ.

Tabla 3.5. Asignación de pines de la tarjeta HUMUSOFT AD-622. [2]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AD0	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	AD6	AD7	AGND	DA6
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DA7	DIN0	DIN1	DIN2	DIN3	DIN4	DIN5	DIN6	DIN7	DA0
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DA1	DA2	DA3	DA4	DA5	-12V	+12V	+5V	GND	DOUT0
31	32	33	34	35	36	37			
DOUT1	DOUT2	DOUT3	DOUT4	DOUT5	DOUT6	DOUT7			

3.4 Real Time Toolbox (librerías para ejecutar en tiempo real)

Es una herramienta de MATLAB (SIMULINK) que contiene las librerías que permiten adquirir y generar señales en tiempo real en la PC y ser interpretadas por el usuario de forma visual, además podemos modificar los parámetros de control por medio de la PC, esta herramienta nos proporciona la interfaz de comunicación entre los bloques de SIMULINK y la tarjeta de adquisición de datos. [8]

3.4.1 Bloques de Real Time Toolbox en SIMULINK

En la Figura 3.3, se presentan los bloques de entrada y salida que contiene la librería de SIMULINK para sus diferentes usos.

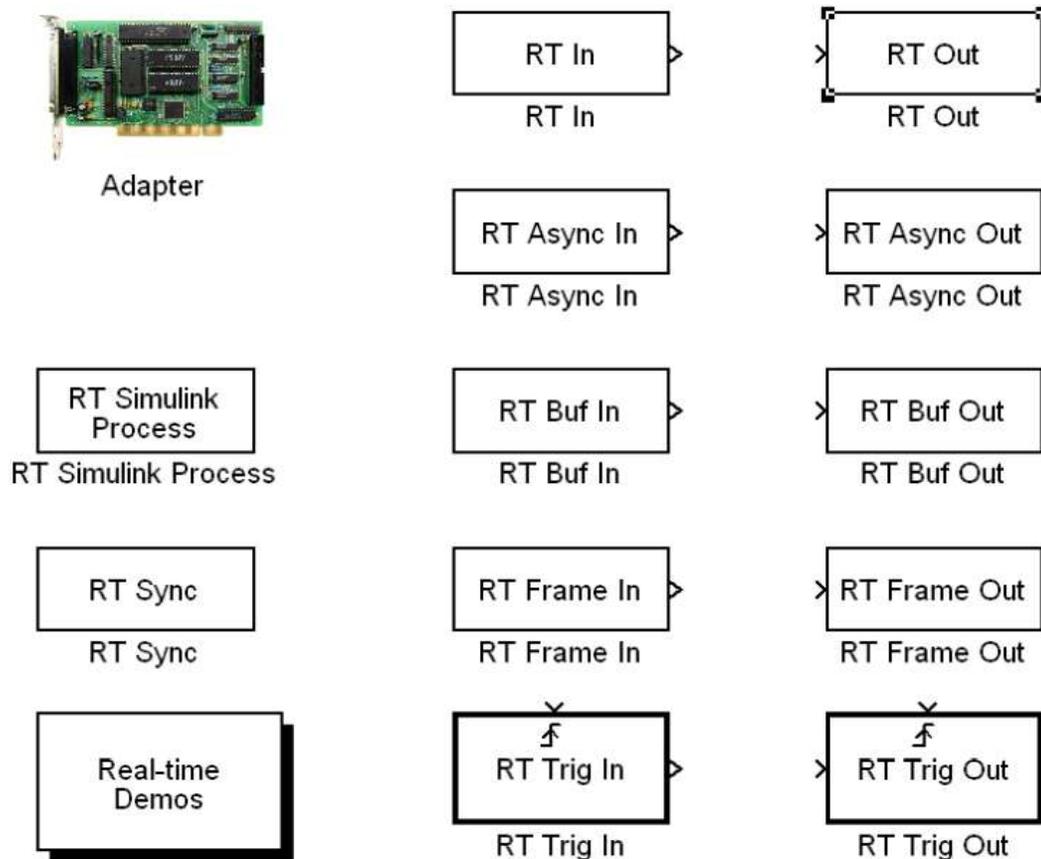


Figura 3.3. Bloques de la librería Real Time en SIMULINK.

3.4.2 Descripción de los bloques de la Figura 3.3

El primer bloque **Adapter** es aquel que carga los controladores (drivers) de la tarjeta HUMUSOFT AD-622 y habilita los canales de transmisión, este bloque es indispensable para el funcionamiento correcto ya que sin este bloque no trabajan adecuadamente los otros bloques. En la Figura 3.4, se muestra el bloque de la librería Real Time Toolbox en forma real de la tarjeta HUMUSOFT AD-622. [9]



Figura 3.4. Bloque Adapter.

El segundo bloque **RT In** (Real Time Input) se utiliza para sectores de control en tiempo real, la señal de entrada es procesada instantáneamente para obtener un óptimo control sin retrasos adicionales en otras palabras este bloque declara el tipo de entrada que se le dará al sistema de manera física por medio de un canal de la tarjeta. En la Figura 3.5, se muestra el bloque que nos proporciona SIMULINK en su entorno gráfico. [8]

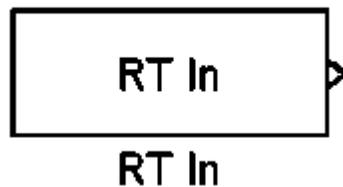


Figura 3.5. Bloque RT In (entrada).

El tercer bloque **RT Out** (Real Time Out) este bloque es aquel con el que declaramos el tipo y canal de señal que se requiere en la etapa de control, tiene como objetivo enviar señales procesadas a la PC de forma visual en tiempo real. En la Figura 3.6, se observa el bloque de salida en tiempo real que nos brinda SIMULINK. [8]

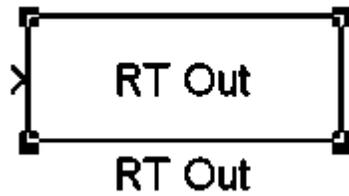


Figura 3.6. Bloque RT Out (salida).

El cuarto bloque **RT Async In** (Real Time Asynchronous In) se utiliza en procesos donde la entrada no es generada externamente si no que la entrada es generada por simulación, también cuenta con periodo de muestreo continuo. En la Figura 3.7, se muestra de forma esquemática el bloque de entrada asíncrona que se presenta en SIMULINK. [8]



Figura 3.7. Bloque de entrada asíncrona.

El quinto bloque **RT Async Out** (Real Time Asynchronous Out) este bloque es asíncrono con datos temporizados de entrada, este bloque se sincroniza con los parámetros de simulación de SIMULINK. En la Figura 3.8, se muestra el bloque de salida asíncrona en tiempo real. [8]

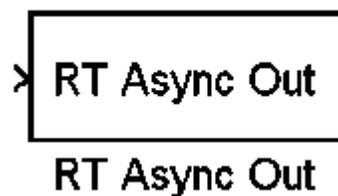


Figura 3.8. Bloque de salida asíncrona en tiempo real.

El sexto bloque es **RT Simulink Process** (Real Time Simulink Process) este bloque nos permite especificar la prioridad de algún proceso de diferentes sistemas a tratar en tiempo real, tiene como prioridad un mejor rendimiento en tiempo real, pero degrada la prioridad de otras tareas en ejecución. En la Figura 3.9, se muestra el bloque de SIMULINK de procesos en tiempo real. [8]



Figura 3.9. Bloque de procesos en tiempo real en SIMULINK.

El séptimo bloque es **RT Buf In** (Real Time Buffered In), está elaborado para el proceso de datos y aplicaciones de procesamiento digital de señales donde los datos se pueden obtener en tiempo real, este bloque tiene como característica que se puede almacenar para procesos futuros. En la Figura 3.10, se observa el bloque de entrada de almacenamiento de datos en SIMULINK. [8]

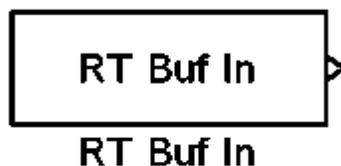


Figura 3.10. Bloque con entrada de almacenamiento.

El octavo bloque es **RT Buf Out** (Real Time Buffered Out), este bloque accede a las muestras almacenadas de la señal procesada y realiza una conversión en tiempo real. El proceso matemático se lleva a cabo antes de que la información llegue al bloque de salida y de este modo se expresa de forma visual. En la Figura 3.11, se muestra el bloque de salida que se almacena para su futura aplicación. [8]



Figura 3.11. Bloque de salida almacenada.

El noveno bloque es **RT Sync** (Real Time Synchronization), este bloque está diseñado para la sincronización de la señal en tiempo real sin que se produzca un escalar o un vector de dos elementos. En la Figura 3.12, encontramos el bloque de sincronización de SIMULINK. [8]

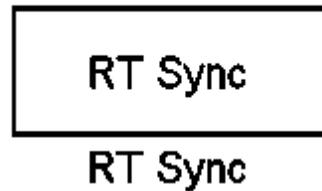


Figura 3.12. Bloque de sincronización en SIMULINK.

El décimo bloque es **RT Frame In** (Real Time Framed In), está diseñado para adquirir señales de entrada y aplicaciones de procesamiento de señales donde la información puede ser capturada en fragmentos de la señal original, pero puede ser almacenada y procesada después de hacer un respaldo. En la Figura 3.13, se muestra el bloque que cuenta con una entrada enmarcada. [8]

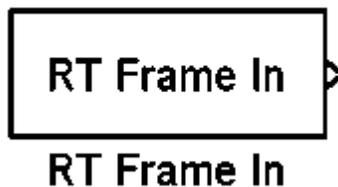


Figura 3.13. Bloque de entrada enmarcada.

El onceavo bloque es **RT Frame Out** (Real Time Framed Out) contiene funciones para la generación de señales, tiene aplicaciones de procesamiento de señales donde la información pueda ser calculada antes de ser almacenada y este es enviado a la salida del dispositivo. En la Figura 3.14, se aprecia el bloque de salida enmarcada en tiempo real. [8]

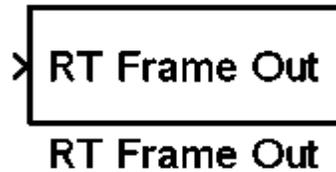


Figura 3.14. Bloque de salida enmarcada.

El doceavo bloque es **RT Trig In** (Real Time Trigered In) está diseñado para aplicaciones donde la entrada no es activada por un temporizador, si no que se activa por una entrada de disparo. La operación de entrada se activa por flancos de subida o flancos de bajada. En la Figura 3.15, se observa el bloque que se activa por un disparo en la entrada.

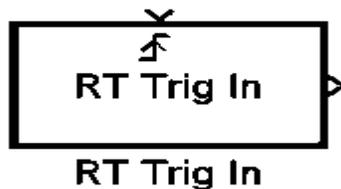


Figura 3.15. Bloque de entrada activada por disparo.

El treceavo bloque es **RT Trig Out** (Real Time Trigger Out) está diseñado para aplicaciones donde la salida no es controlada por temporizador si no por una entrada de disparo. La operación de activación de salida se puede llevar acabo por flancos de subida o por flancos de bajada. La Figura 3.16, se observa el bloque de SIMULINK donde la salida se activa por disparo. [8]

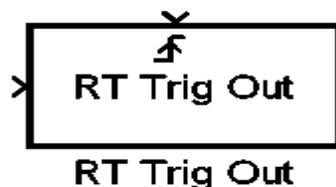


Figura 3.16. Bloque de salida activada por disparo.

Capítulo 4

Diseño de sistemas de instrumentación en SIMULINK

En la actualidad es muy difícil encontrar una industria donde el proceso de producción no cuente con tecnología de sistemas de instrumentación que realicen la medición de temperatura. Con el desarrollo de la tecnología, la instrumentación industrial ha venido ganando más terreno. Tiempo atrás, era necesario disponer de varios instrumentos de medición como termómetros de vidrio, termómetros bimetalicos, termopares, termoresistencias entre otros. [20]

Sin embargo, todos los instrumentos de medición descritos anteriormente son cada vez menos usados, gracias a los avances en el diseño de los sistemas de instrumentación basados en la adquisición de datos (DAQ) que mediante la PC se realiza el proceso de medir un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable.

Comparados con los sistemas de medida tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de la PC estándares en la industria además proporcionan una solución de medidas más potente, flexible y rentable. La tarjeta HUMUSOFT AD-622 está optimizada para ser utilizada con Real Time Toolbox para MATLAB y junto con la herramienta SIMULINK proporcionan un entorno fácil de usar y bien integrada para la adquisición de datos. El diseño de sistemas de instrumentación de temperatura conlleva diferentes elementos electrónicos que realizan el proceso de exactitud de medida para que nuestro diseño sea estable y confiable. [20]

4.1 Elección y pruebas del termistor

El termistor que se eligió para realizar las pruebas es del tipo terminal semilla NTC (coeficiente de temperatura negativo) lo que significa que cuando se incrementa la temperatura la resistencia del termistor disminuye, el valor de resistencia del termistor es de 10 K Ω a 25 °C. En la Tabla 4.1, se muestran los datos del termistor del comportamiento de su resistencia a diferentes temperaturas, estos valores fueron obtenidos de las hojas de datos del fabricante.

Tabla 4.1. Datos del fabricante sobre la resistencia del termistor ante la temperatura.

temperatura °C	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
Resistencia KΩ	10	8	6.52	5.32	4.36	3.59	2.48	1.74	1.25	0.911	0.674

Se realizó la prueba del comportamiento del termistor tipo terminal semilla NTC aplicando temperatura y observando la disminución de resistencia por medio de un multímetro, la temperatura fue censada por un multímetro digital de gancho que tiene la característica de obtener la temperatura de forma visual por medio de un termopar tipo K.

Se utilizó un caudín tipo lápiz que se utiliza para soldar elementos electrónicos pequeños con el material llamado estaño, con este dispositivo se logró tener la temperatura adecuada para censar el comportamiento del termistor NTC, colocando el termopar tipo K del multímetro digital de gancho a poca distancia del caudín y a su vez colocamos el termistor NTC también a la misma distancia que el termopar tipo K del caudín, nuestro termistor NTC fue conectado en paralelo con el multímetro para ver su comportamiento respecto a su resistencia. Se observó que el termistor NTC utilizado para las pruebas está en buenas condiciones, ya que los valores que se proporcionan por el fabricante concuerdan con los datos obtenidos en las pruebas, se comprueba que este tipo de termistores NTC no son lineales.

En la Figura 4.1, se observa el procedimiento que se realizó para la prueba del termistor NTC, con la ayuda de un multímetro digital de gancho se tomó la temperatura y con otro multímetro digital se observó el descenso de resistencia, este tipo de termistor NTC funciona a una cierta temperatura que es 25 C y nos da un valor de resistencia de 10K Ω , lo que quiere decir que mientras aumenta la temperatura la resistencia del termistor disminuye.

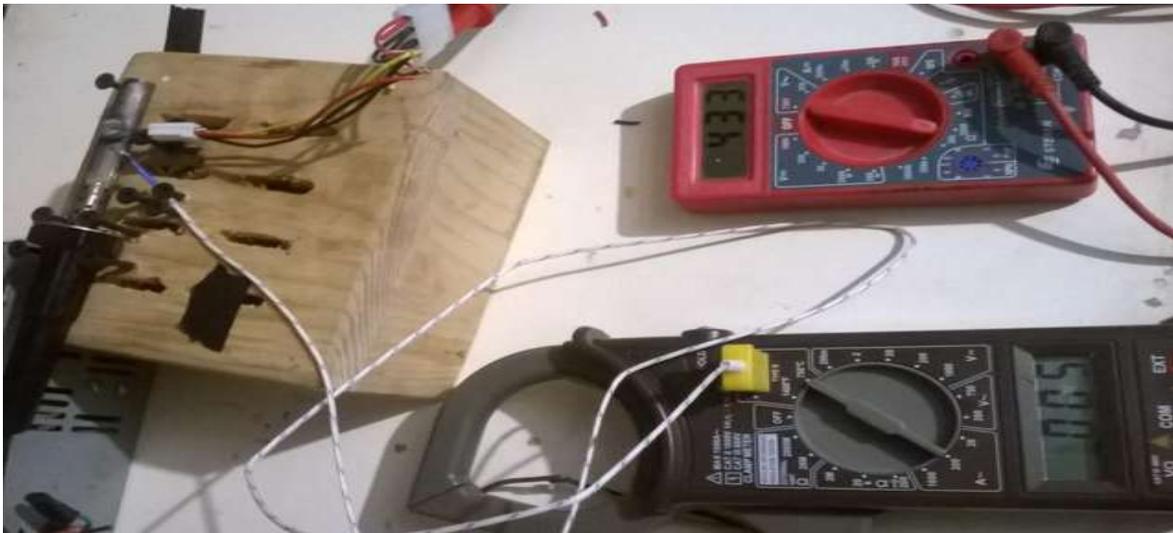


Figura 4.1. Procedimiento de la prueba del termistor NTC.

En la Tabla 4.2, se muestran los datos obtenidos de la prueba realizada al termistor, se utilizó un cautín tipo lápiz para la temperatura y se observó que el termistor se encuentra en buenas condiciones ya que los datos obtenidos en la prueba fueron muy parecidos a los del fabricante.

Tabla 4.2. Datos obtenidos en la prueba con el termistor NTC tipo terminal de semilla.

temperatura C	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
Resistencia KΩ	9.96	8.1	6.16	5.02	4.16	3.41	2.37	1.65	1.100	0.890	0.602

Por medio de MATLAB se elaboró el código para graficar las curvas típicas del termistor NTC tipo terminal de semilla tanto del fabricante como de prueba, el código se muestra a continuación.

```
%Datos obtenidos de la prueba del termistor NTC tipo terminal de semilla
x=[25 30 35 40 45 50 60 70 80 90 100]; %Temperatura
y=[9.96 8.1 6.16 5.02 4.16 3.41 2.37 1.65 1.100 0.890 0.602];%Resistencia
%grafica color azul
plot(x,y,'--o','linewidth',2,'markersize',8) %Representacion grafica
%Titulo de la grafica
title('CURVA DEL TERMISTOR NTC TIPO TERMINAL DE SEMILLA DE 10K Ohms')
xlabel('Temperatura °C') %Titulo del eje x
ylabel('Resistencia K Ohms') %Titulo del eje y
hold on %Comando para graficar dos curvas en una sola grafica
%Datos proporcionados por las hojas de datos del fabricante
x1=[25 30 35 40 45 50 60 70 80 90 100]; %Temperatura
y1=[10 8 6.52 5.32 4.36 3.59 2.48 1.74 1.25 0.911 0.674]; %Resistencia
%grafica color rojo
plot(x1,y1,'--ro','linewidth',2,'markersize',8) %Representacion grafica
```

A continuación se muestra las curvas de los datos obtenidos por el fabricante y por la prueba que se realizó en el termistor NTC, con la ayuda de MATLAB se graficaron los datos, obteniendo la curva típica del termistor NTC y se comprobó que este tipo de termistor NTC no es lineal. En la Figura 4.2, se muestra la curva del termistor NTC tanto de la prueba donde se observa que es de color azul, la curva de color rojo muestra los datos del fabricante.

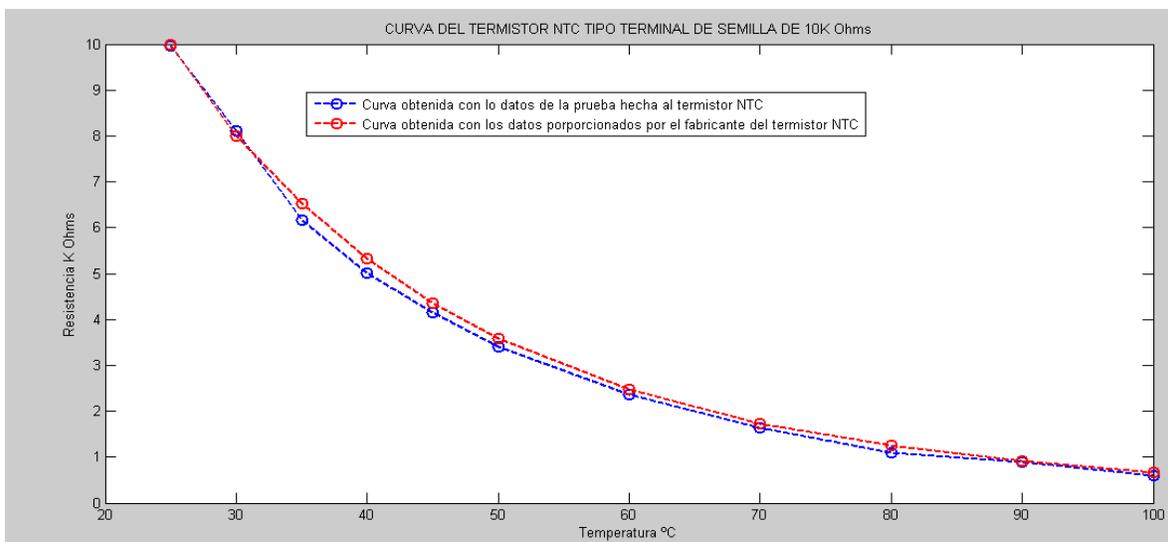


Figura 4.2. Curvas del termistor NTC tipo terminal de semilla con datos de prueba y del fabricante.

4.2 Pruebas del Puente de Wheatstone con termistor NTC y sensor LM35

El puente de Wheatstone cuando está desequilibrado su voltaje de salida no es igual a cero. El puente desequilibrado se utiliza para medir varios tipos de cantidades físicas tales como deformación mecánica, temperatura o presión. Esto se puede hacer conectando un transductor en una pata del puente como se indica en la Figura 4.3, donde la resistencia del transductor cambia proporcionalmente a los cambios de temperatura. [13]

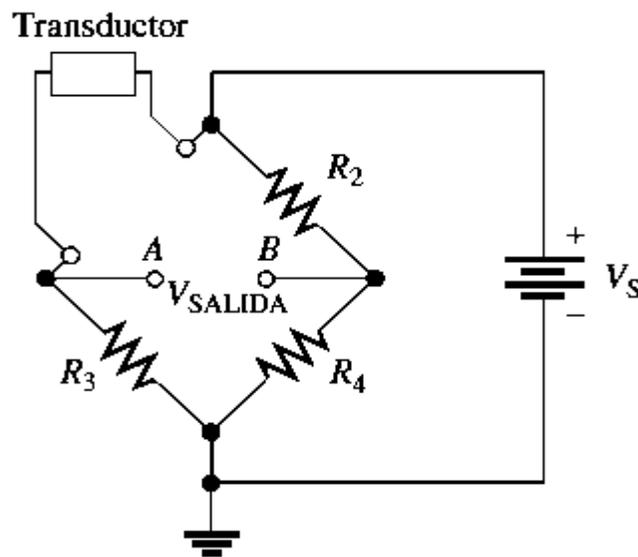


Figura 4.3. Puente de Wheatstone con termistor NTC. [i]

Si el puente está equilibrado en un punto conocido, entonces la cantidad de desviación con respecto a la condición de equilibrio, indicada por el voltaje de salida, señala la cantidad de cambio del parámetro que se está midiendo. Por consiguiente, el valor del parámetro que se está midiendo puede ser determinado mediante la cantidad de desequilibrio del puente.

La resistencia del termistor cambia de manera predecible a medida que cambia la temperatura, lo que provoca un cambio correspondiente en el voltaje de salida del puente a medida que se desequilibra. El voltaje de salida es proporcional a la temperatura; por consiguiente. Un circuito puente se diseña para medir temperatura de modo que se equilibre a cierta temperatura de referencia y desequilibre a una temperatura medida.

4.2.1 Prueba con el puente de Wheatstone con termistor NTC.

La prueba se realizó calculando las resistencias del puente de Wheatstone, se eligió la $R_1 = R_2 = 1K\Omega$, como nuestro termistor NTC tipo terminal de semilla tiene un valor de $10K\Omega$ a $25\text{ }^\circ\text{C}$, se utilizó la siguiente fórmula para calcular la resistencia R_3 :

$$R_3 = R_{TERMISTOR} * \frac{R_1}{R_2} = 10K\Omega * \frac{1K\Omega}{1K\Omega} = 10K\Omega \quad (4.1)$$

Se utilizó una fuente de CD de 5 volts para alimentar al puente de Wheatstone, también se utilizó un multímetro digitales para medir el voltaje de salida en el punto (A), (B) y V_{salida} . Se trabajó con un multímetro digital de gancho para que midiera la temperatura por medio de un termopar tipo K, en la Figura 4.4, se observa la conexión de los dispositivos de medición que se utilizaron para obtener los datos del voltaje (A) y (B), además se puede observar que el termistor NTC se encuentra sumergido en un recipiente con agua junto con el termopar tipo K para censar la temperatura.

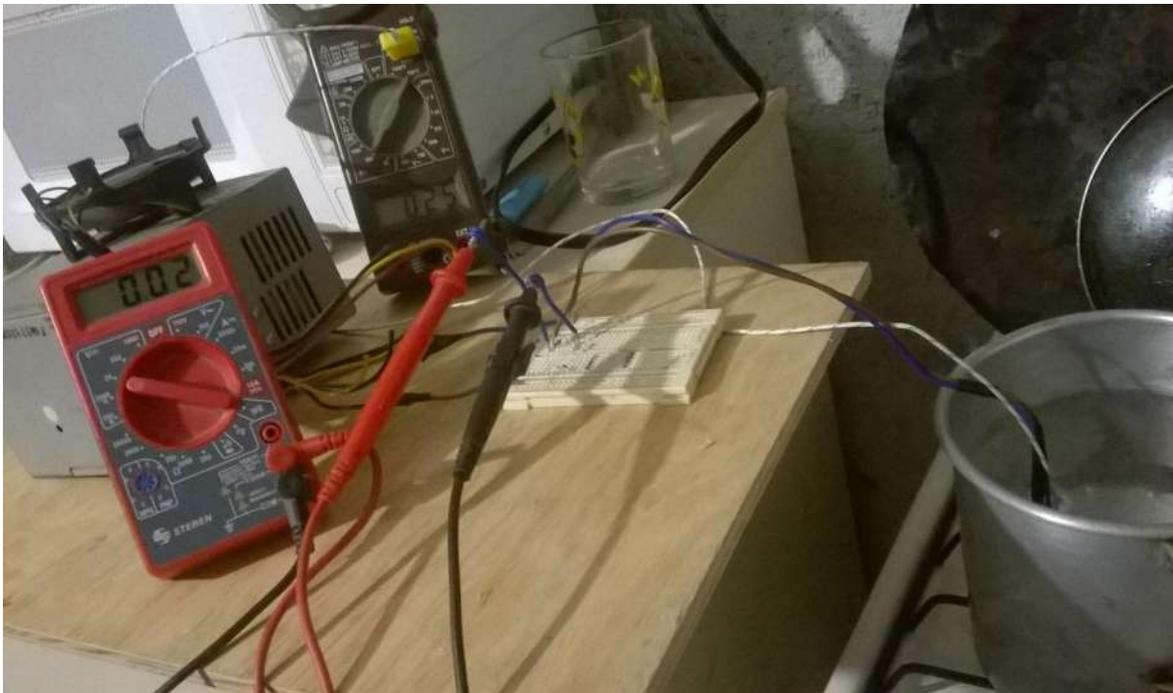


Figura 4.4. Conexión del puente de Wheatstone y dispositivos de medición de temperatura y voltaje.

A continuación se muestra mediante la Tabla 4.3, los datos recabados de la prueba del puente de Wheatstone con el termistor NTC, se obtuvieron los valores de voltaje del punto (A) y el punto (B).

Tabla 4.3. Datos obtenidos durante la prueba del puente de Wheatstone con termistor NTC.

temperatura C	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
Voltaje (A)	0.48	0.57	0.70	0.84	1	1.17	1.54	1.97	2.40	2.83	3.35
Voltaje (B)	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47

Para comprobar si el puente de Wheatstone con el termistor NTC estaba funcionando adecuadamente se realizó la simulación en el software de simulación de circuitos electrónicos **Proteus**, dicha simulación se observa en la Figura 4.5, la conexión de la simulación así como los valores de R1, R2, R3 y el valor del termistor a 25 C, se conectaron tres volímetros de simulación para observar el comportamiento del voltaje del punto (A) y (B) así como el voltaje entre sus extremos.

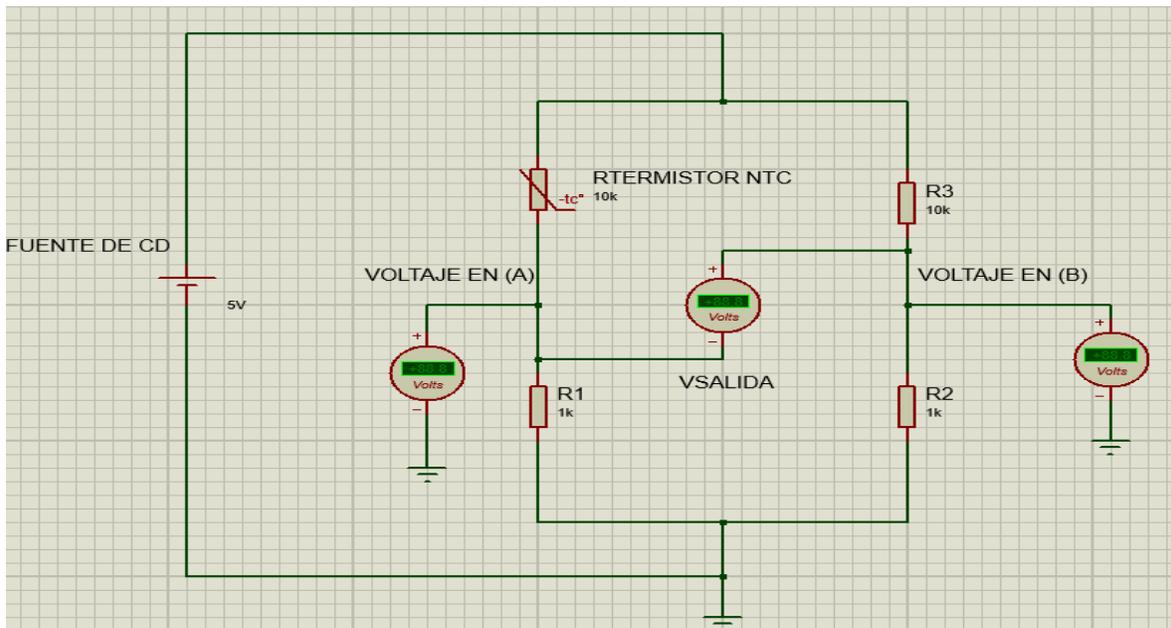


Figura 4.5. Diagrama de simulación en Proteus del puente de Wheatstone con termistor NTC.

Variando la resistencia del termistor NTC de acuerdo a los valores de temperatura obtenidos en la Tabla 4.2, se recabo la siguiente información que se expresará en la Tabla 4.4, donde se observan los valores del punto (A) y (B) a una cierta temperatura.

Tabla 4.4. Datos obtenidos en la simulación del puente de Wheatstone con termistor NTC.

temperatura C	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
Voltaje (A)	0.49	0.60	0.76	0.92	1.08	1.27	1.68	2.12	2.65	2.92	3.39
Voltaje (B)	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47

Como se puede apreciar los datos de las tablas tanto de la prueba como la de simulación concuerdan, por lo tanto, nuestro puente de Wheatstone con termistor NTC funciona adecuadamente.

4.2.2 Prueba del puente de Wheatstone con sensor de temperatura LM35.

Se realizó la prueba con el sensor de temperatura LM35, este sensor tiene una precisión calibrada 1 C, su rango de medición se encuentra a -55 C hasta 150 C, la ventaja que tiene el encapsulado LM35 es su salida lineal y cada grado Celsius corresponde a 10 mV. En la Figura 4.6, se muestra la gráfica de temperatura contra el voltaje de salida esta gráfica fue extraída de las hojas de datos del fabricante. [f]

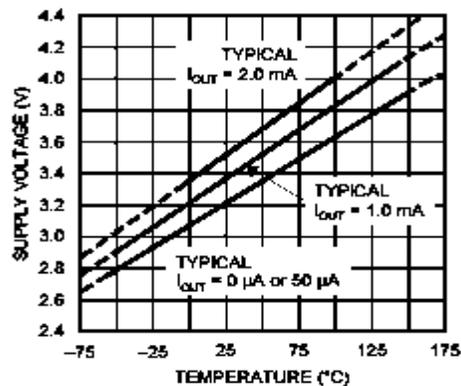


Figura 4.6. Gráfica del sensor de temperatura LM35. [f]

En la siguiente Figura 4.7, se muestra la conexión de la prueba realizada con el puente de Wheatstone conectando un sensor de temperatura LM35 y checando su salida de voltaje y temperatura.

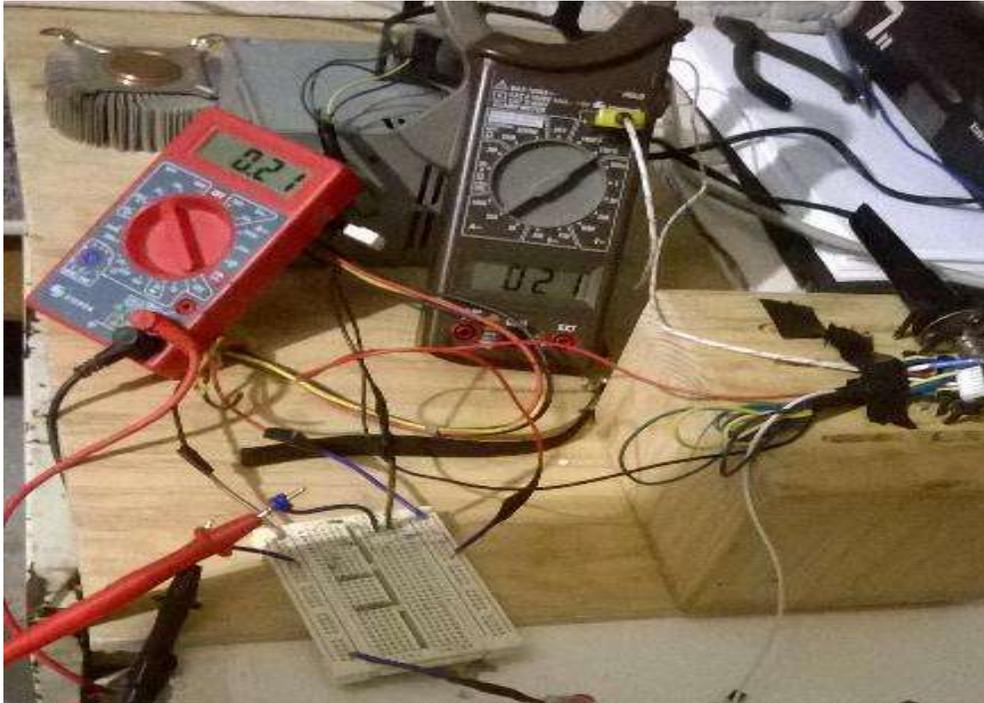


Figura 4.7. Armado del puente de Wheatstone con el sensor de temperatura LM35.

Los valores de voltaje en el punto (A) y punto (B), que fueron obtenidos de la prueba del sensor LM35 se muestran a continuación en la Tabla 4.5, donde se puede apreciar que el valor de voltaje en los puntos (A) y (B) medidos con el multímetro digital es igual a la temperatura medida con el multímetro digital de gancho.

Tabla 4.5. Valores obtenidos en la prueba del sensor LM35 con el puente de Wheatstone.

temperatura C	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
Voltaje (A)	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1
Voltaje (B)	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47

4.3 Amplificador de instrumentación

El amplificador de instrumentación es un amplificador diferencial tensión-tensión cuya ganancia puede establecerse de forma muy precisa y que ha sido optimizado para que opere de acuerdo a su propia especificación aun en el entorno hostil. Es un elemento esencial de los sistemas de medida, en los que se ensambla como un bloque funcional que ofrece características funcionales propias e independientes de los restantes elementos con los que interacciona. Para ello, se requiere: [12]

- a) Que tengan características funcionales que sean precisas y estables.
- b) Sus características no se modifiquen cuando se ensambla con otros elementos.

A los amplificadores de instrumentación se les requiere las siguientes características:

- 1) Son amplificadores diferenciales con una ganancia diferencial precisa y estable, generalmente en el rango de 1 a 1000.
- 2) Su ganancia diferencial es controlada mediante un único elemento analógico (potenciómetro resistivo) o digital (conmutadores) lo que facilita su ajuste.
- 3) Su ganancia en modo común debe ser muy baja respecto a la ganancia diferencial, debe ofrecer un CMRR muy alto en todo el rango de frecuencia en que opera.
- 4) Una impedancia muy alta para que su ganancia no se vea afectada por la impedancia de la fuente de entrada.
- 5) Una impedancia de salida muy baja para que su ganancia no se vea afectada por la carga que se conecta a su salida.
- 6) Bajo nivel de la tensión de offset del amplificador y baja deriva en el tiempo y con la temperatura, a fin de poder trabajar con señales de CD muy pequeñas.
- 7) Una anchura de banda ajustada a la que se necesite en el diseño.
- 8) Un factor de ruido muy próximo a la unidad, esto es, que no incremente el ruido.
- 9) Una razón de rechazo al rizado a la fuente de alimentación muy alto.

La configuración más utilizada como amplificador de instrumentación está constituida por tres amplificadores operacionales utilizados de acuerdo con el esquema de la Figura 4.8, donde se observa la conexión de las resistencias. [12]

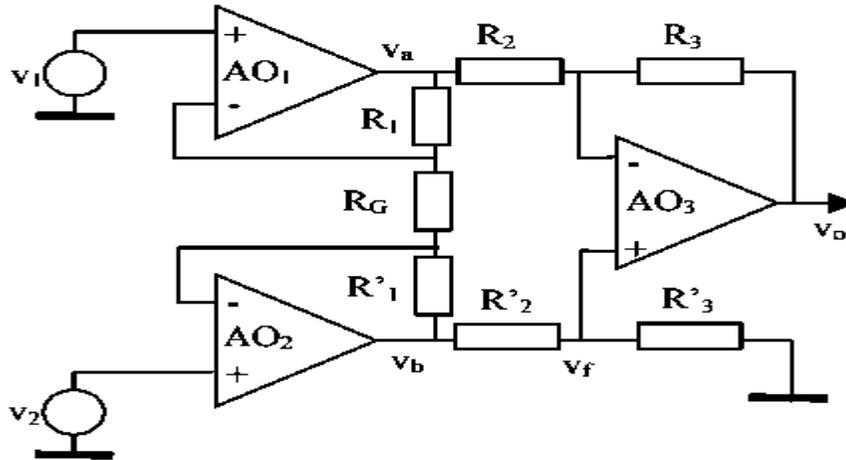


Figura 4.8. Configuración más utilizada como amplificador de instrumentación. [12]

4.3.1 Modelo matemático del amplificador de instrumentación.

En la Figura 4.8, se observa que existe un corto circuito virtual entre los bornes de la resistencia de ganancia (R_g), por lo tanto circula una corriente entre ellos: [c]

$$I_g = (V_2 - V_1) \left(\frac{1}{R_g} \right) \quad (4.2)$$

Existe una impedancia elevada en las entradas del amplificador de instrumentación, la corriente que atraviesa por R_g , es similar a la de R_1 , las resistencias $R_2 = R_3 = R'_2 = R'_3$ y $R_1 = R'_1$, por lo tanto sus tensiones son:

$$V_{intermedio} = \frac{(V_2 - V_1)}{R_g} (R_g + 2R_1) = (V_2 - V_1) \left(\frac{R_g}{R_g} + \frac{2R_1}{R_g} \right) \quad (4.3)$$

Para finalizar el modelo matemático de este amplificador, se toman los resistores R_2 y R_3 como $R_2 = R_3$ para añadir a la ecuación final:

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{2R_1}{R_g} \right) \quad (4.4)$$

La ganancia del amplificador de instrumentación se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$A_v = \left(\frac{2R_1}{R_g} + 1 \right) \left(\frac{R_3}{R_2} \right) \quad (4.5)$$

4.4 Prueba con termistor NTC conectado al amplificador de instrumentación

En esta prueba se realizó la medición de voltaje de salida respecto al incremento de la temperatura en el termistor NTC, para realizar la prueba se utilizó un circuito integrado LM324 que contiene 4 amplificadores operacionales. En la Figura 4.9, se muestra la configuración del LM324. [b]

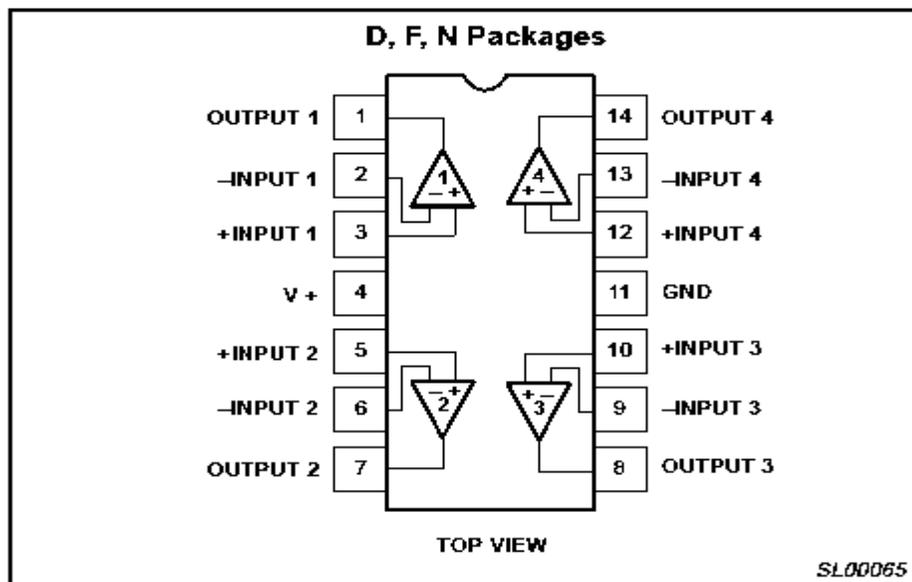


Figura 4.9. Configuración de pines del circuito integrado Lm324. [b]

Este circuito integrado se caracteriza por tener un rango amplio de corriente continua, puede ser simétrica de $\pm 1.5\text{v}$ a $\pm 16\text{v}$, o sólo positiva desde 3v a 32v . Puede trabajar directamente a 5v , cuenta con un ancho de banda de 1MHz , la tensión de salida será de 0v hasta -1.5v , puede disipar una potencia de hasta 1130mW , cuenta con un tiempo de respuesta de $10\mu\text{s}$. [b]

En la Figura 4.10, se observa la conexión que se realizó para el armado del amplificador de instrumentación con el circuito integrado LM324, ya terminada se conectó con el puente de Wheatstone para realizar la prueba. [b]

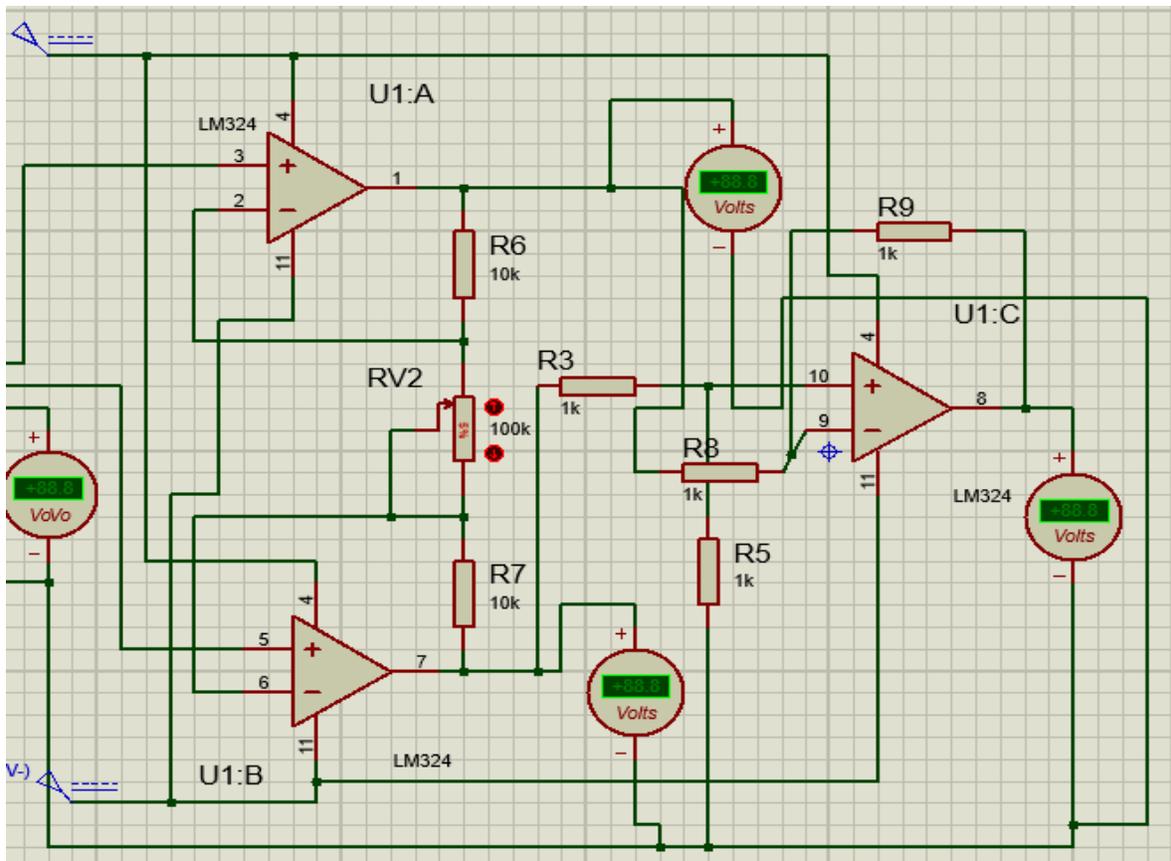


Figura 4.10. Diagrama de conexión del amplificador de instrumentación.

La elección de las resistencias R9, R5, R3 y R8 son de $1\text{K}\Omega$ ya que $R9=R5=R3=R8$ por lo tanto las 4 resistencias anteriores son de mismo valor, donde van colocadas estas resistencias se encuentra la conexión para un amplificador diferencial básico.

Cuenta con ganancia unitaria ya que sus resistencias son de igual valor, la etapa donde se muestra a dos amplificadores operacionales se le denomina amplificador aislador. Están interconectados por tres resistencias R6, R7 y RV2 = Rg que es un potenciómetro donde se modifica el valor de resistencia con el cual obtendremos el valor de voltaje deseado en la salida como R6=R7, entonces se eligió el valor de 10KΩ de acuerdo a nuestro valor de salida tanto para una temperatura hasta la temperatura máxima, se utilizó la fórmula del voltaje de salida del amplificador de instrumentación para calcular el voltaje que corresponde a 25 C salga 10v a la salida se calcula lo siguiente: [b]

$$V_{out} = (V_A - V_B) \left(1 + \frac{2R_6}{R_g} \right) \quad (4.6)$$

Para obtener $V_{out} = 10v$ a la salida del amplificador de instrumentación se utiliza la fórmula 4.6, donde se presentan los valores de voltaje V_A y V_B representados en la tabla 4.3, donde $V_A = 3.35v$ y $V_B = 0.47v$, el valor de $R_6 = 10K\Omega$, despejamos R_g : [b]

$$V_{out} = (3.35 - 0.47) \left(1 + \frac{2(10K\Omega)}{R_g} \right) \quad (4.7)$$

Despejamos R_g :

$$R_g = \frac{20K\Omega}{\frac{V_{out}}{V_A - V_B} - 1} = 8.097K\Omega \quad (4.8)$$

Obtenemos una ganancia de $A_v = 3.47$ mediante la siguiente fórmula:

$$A_v = \left(\frac{2R_6}{R_g} + 1 \right) \left(\frac{R_9}{R_5} \right) \quad (4.9)$$

Sustituyendo:

$$A_v = \left(\frac{20K\Omega}{8.097K\Omega} + 1 \right) \left(\frac{1K\Omega}{1K\Omega} \right) = 3.47 \quad (4.10)$$

En la Figura 4.11, se observa la conexión del puente de Wheatstone y el amplificador de instrumentación mediante la prueba con el termistor NTC, se obtuvieron los resultados de voltaje de salida correspondientes a la temperatura.



Figura 4.11. Conexión del puente de Wheatstone con el amplificador de instrumentación.

En la Tabla 4.6, se observa los datos obtenidos durante la prueba con el termistor NTC.

Tabla 4.6. Valores obtenidos en la prueba del amplificador de instrumentación y el puente.

temperatura C	Voltaje de salida (V_{volts})
25	0.01
30	0.55
35	1.10
40	1.75
45	2.50
50	3.30
60	5
70	6.93
80	9.20
85	10

Se realizó la simulación para corroborar los datos obtenidos en la prueba del puente de Wheatstone con termistor NTC y conectado a un amplificador de instrumentación. La Figura 4.12, muestra la simulación elaborada en el programa de simulación de circuitos electrónicos Proteus se colocó un potenciómetro en lugar del termistor NTC para realizar la simulación.

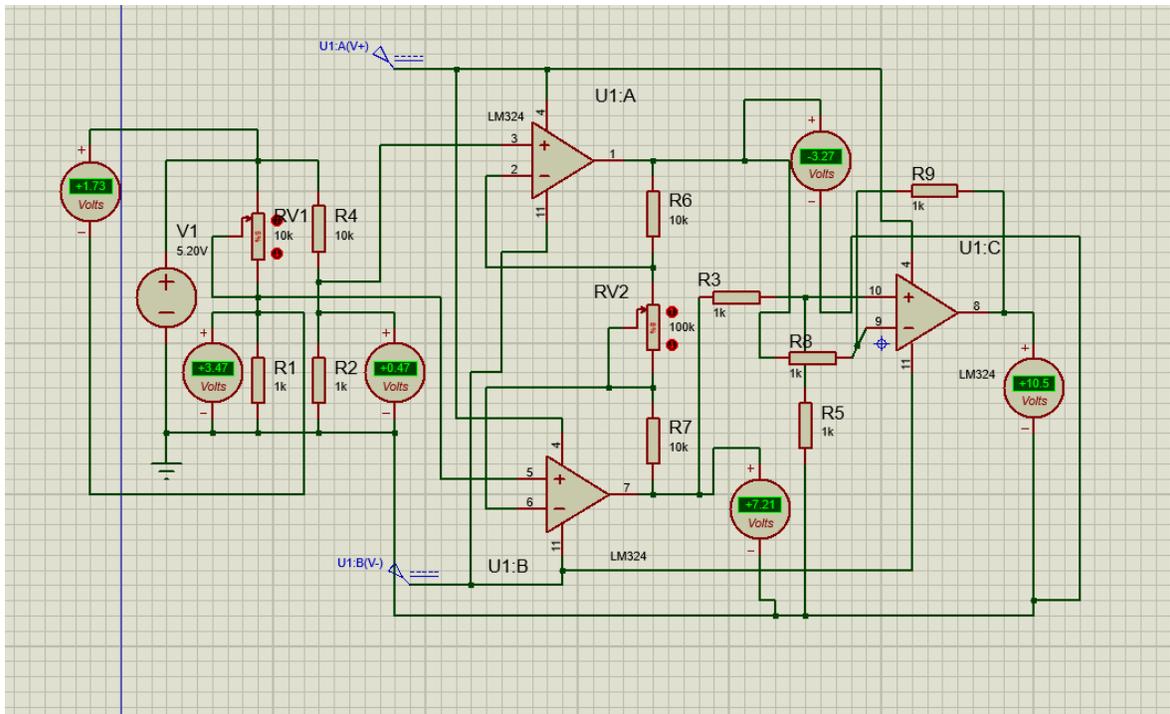


Figura 4.12. Simulación del puente de Wheatstone con amplificador de instrumentación.

Para la interacción con la tarjeta de adquisición de datos HUMUSOFT AD-622 utilizaremos la herramienta computacional MATLAB SIMULINK, utilizaremos la librería **Simscape** dentro de esta librería se encuentra otra librería llamada **Foundation Library**, en esta librería se encuentra la carpeta llamada **Electrical** donde encontraremos los elementos electrónicos y eléctricos que utilizaremos como simulación virtual en SIMULINK. Además se utilizara diferentes bloques para la conexión del circuito puente de Wheatstone y el circuito amplificador de instrumentación, los bloques que se utilizaran son **PS-Simulink converter**, **Solver Configuration**, **Display** y el bloque denominado **Voltaje Sensor**, estos elementos se describirán detalladamente ya que son fundamentales para la simulación.

La Figura 4.13, muestra la localización de las librerías en el entorno de SIMULINK y se puede observar que cuenta con diferentes elementos electrónicos y eléctricos, se observa que cuenta con resistencias y amplificadores operacionales que son los que ocuparemos para realizar la simulación virtual.

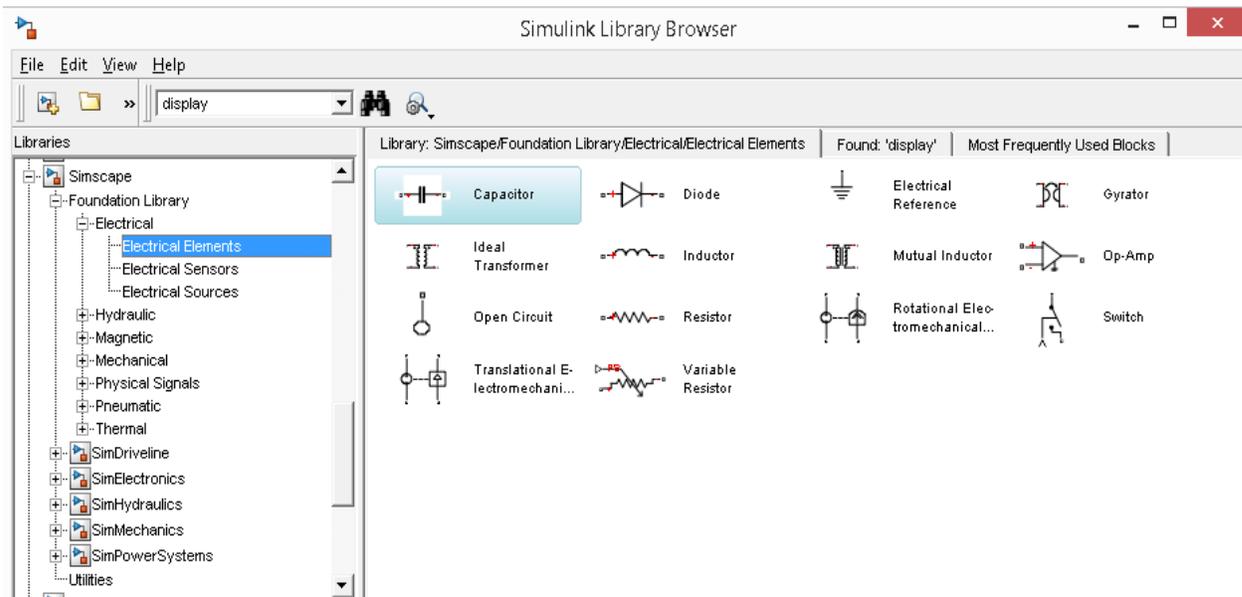


Figura 4.13. Imagen de las librerías de SIMULINK y sus elementos eléctricos y electrónicos.

El amplificador operacional es un elemento electrónico que se utilizara en esta investigación, SIMULINK cuenta con este dispositivo en su forma ideal, además del elemento resistencia que se conectara para las configuraciones en el amplificador operacional.

Como se observa en la Figura 4.14, se representa el bloque **PS-Simulink converter** que convierte la entrada de SIMULINK en una señal de red física, este bloque se utilizó ya que no se podía conectar otro elemento que no fuera de su propia librería. Se utiliza regularmente para interactuar con elementos de medición de voltaje y corriente y fuentes de CD, se tiene que declarar dentro de sus parámetros del bloque en cuestión la unidad si se especifica un valor de (1) entonces interpretara que las unidades de la señal física en la salida del bloque coinciden con las unidades por defecto esperados en la entrada del bloque.

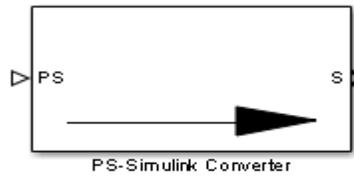


Figura 4.14. Bloque de SIMULINK PS-Simulink converter. [3]

En la siguiente Figura 4.15, se observa el bloque **Solver Configuration** que es utilizado para solucionar los parámetros de información en la configuración de la simulación, cada red física representada por un diagrama de bloques conectados a **Simscape** requiere el boque de **Solver Configuration** para su correcto funcionamiento. [3]

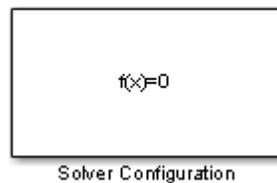


Figura 4.15. Bloque de SIMULINK Solver Configuration. [3]

En la Figura 4.16, se observa el bloque **Voltaje sensor** que es un dispositivo que convierte la tención medida entre dos puntos de un circuito eléctrico en una señal proporcional fisico a la tensión. [3]

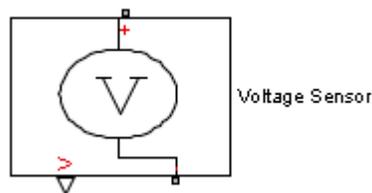


Figura 4.16. Bloque de SIMULINK Voltaje sensor. [3]

Se simulará el puente de Wheatstone en SIMULINK y se comprobará su correcto funcionamiento con la ayuda del programa de simulación de circuitos electrónicos **Proteus**, se colocarán diferentes valores de resistencia simulando el termistor NTC.

En la Figura 4.17, se observa la simulación en SIMULINK del puente de Wheatstone con un valor de resistencia en el termistor NTC de $1K\Omega$, y se puede observar que en los puntos (A) y (B) nos muestra un valor de voltaje en el punto (A) de 2.6v y el punto (B) de 0.4727v, aproximados a los valores reales obtenidos en la prueba del puente de Wheatstone.

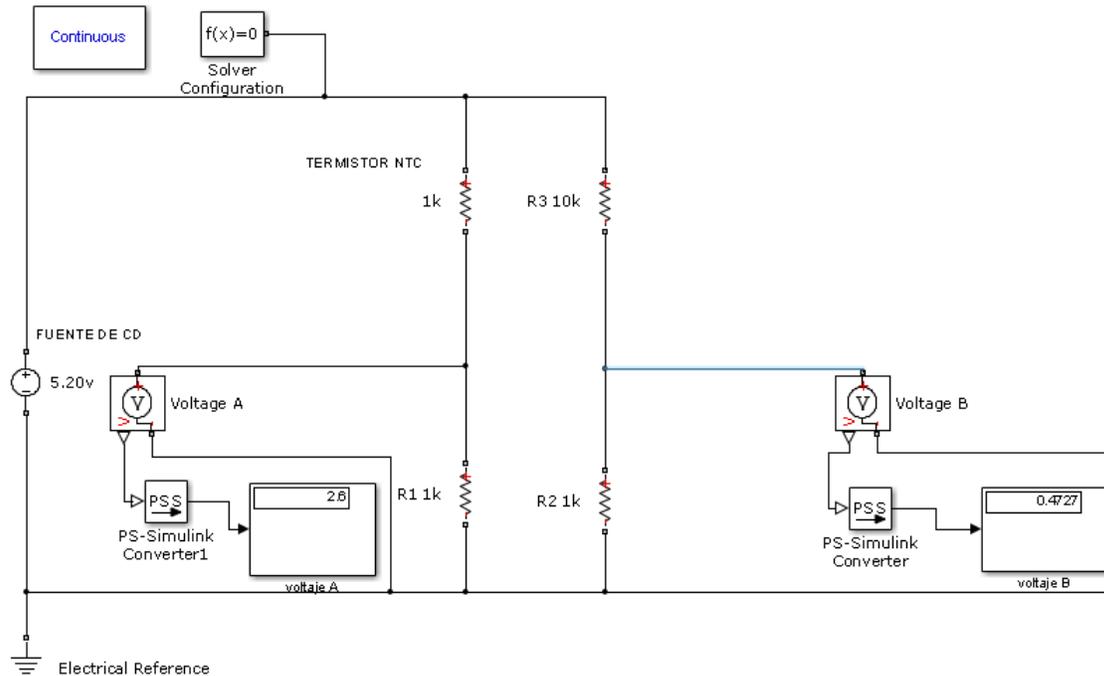


Figura 4.17. Diagrama esquemático del puente de Wheatstone en SIMULINK.

Para comprobar el correcto funcionamiento del puente de Wheatstone en la simulación en SIMULINK se utilizara **Proteus** como se muestra en la Figura 4.18, como se observa los valores de voltaje en los puntos (A) y (B) son los mismos con la simulación realizada en SIMULINK. Se colocó un potenciómetro para simular la resistencia del termistor NTC en el puente de Wheatstone. Se simulo tanto en SIMULINK y en Proteus con diferentes valores de resistencia en el termistor NTC obteniendo en los puntos (A) y (B) valores de voltaje iguales con lo cual se llega a la conclusión que nuestro puente de Wheatstone funciona adecuadamente.

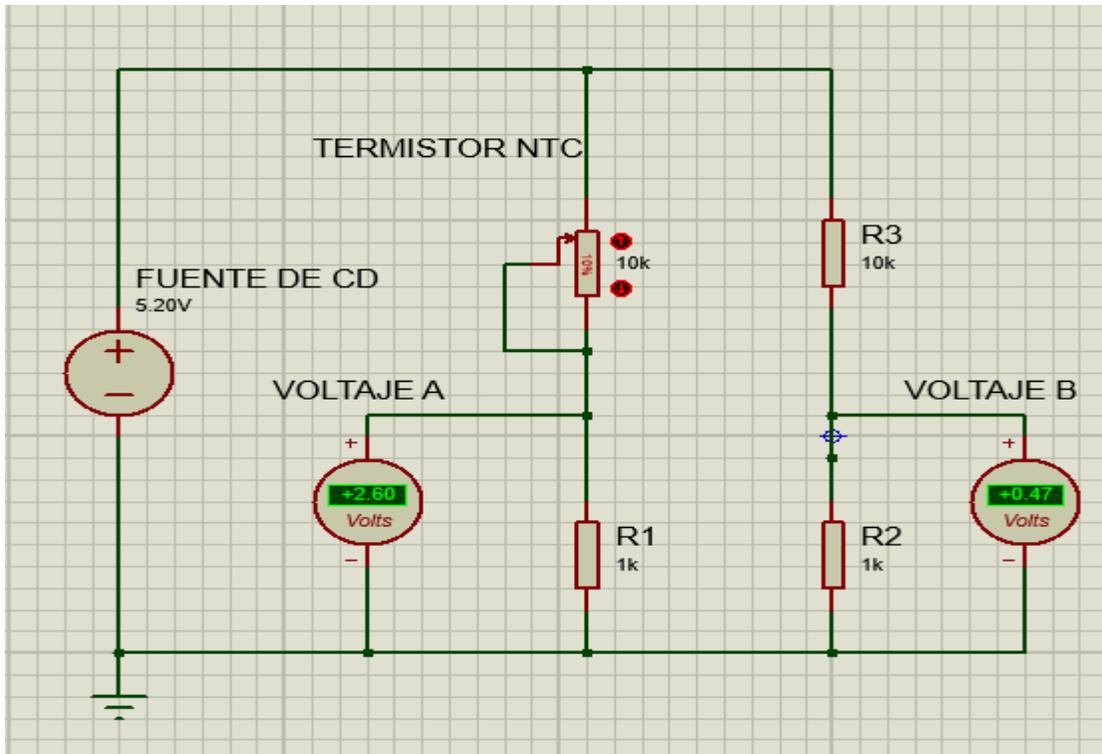


Figura 4.18. Simulación del puente de Wheatstone en **Proteus**.

Con las simulaciones anteriores se procede a simular el amplificador de instrumentación tanto en SIMULINK como en Proteus para verificar su correcto funcionamiento, para esta etapa se conecta directamente el puente de Wheatstone con el amplificador de instrumentación y se observa sus diferentes voltajes de salida.

En la simulación se tiene que colocar el bloque llamado **Powergui** ya que con este bloque se resuelve el circuito de lo contrario si faltara este bloque SIMULINK no funcionaría para la simulación de circuitos. En la Figura 4.19, se observa el bloque **Powergui** de SIMULINK.



Figura 4.19. Bloque Powergui de SIMULINK.

En la Figura 4.20, se muestra el conexionado del puente de Wheatstone con el amplificador de instrumentación en SIMULINK, se dio un valor de resistencia en el termistor NTC de 500Ω y obtuvimos un valor de salida de $10.48v$ que es un aproximado con los valores reales de voltaje de salida que obtuvimos en la prueba.

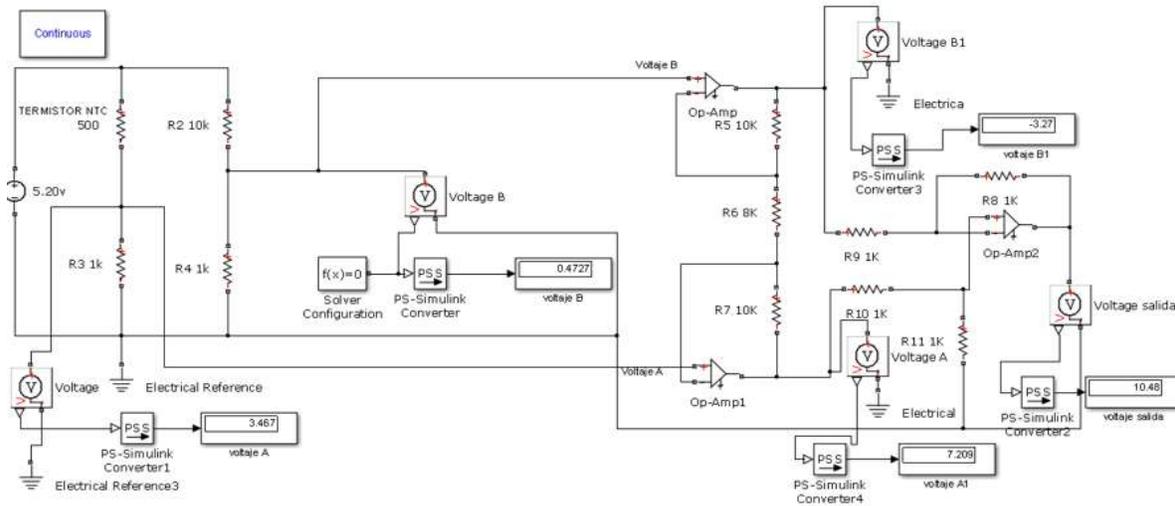


Figura 4.20. Conexión del puente de Wheatstone y el Amplificador de instrumentación.

En la Figura 4.20, se observa los diferentes valores de voltaje tanto del puente de Wheatstone como el amplificador de instrumentación, se colocó diferentes voltímetros para comprobar si los valores de voltaje en cada etapa eran los correctos, de esta manera se hace más fácil la interpretación y verificación del correcto funcionamiento de nuestro circuito.

También se igualaron los valores de voltaje reales de la fuente de alimentación para que los valores en las simulaciones fueran parecidos y no tener incongruencias a la hora de probar nuestro circuito terminado.

Para comprobar si nuestro circuito simulado en SIMULINK funciona adecuadamente se hace la comparación con la simulación en **Proteus**. En la Figura 4.21, se observa la simulación en **Proteus** del conexionado del puente de Wheatstone y el Amplificador de instrumentación, obteniendo valores de voltaje de salida de $10.5v$ con una resistencia en el termistor NTC de 500Ω .

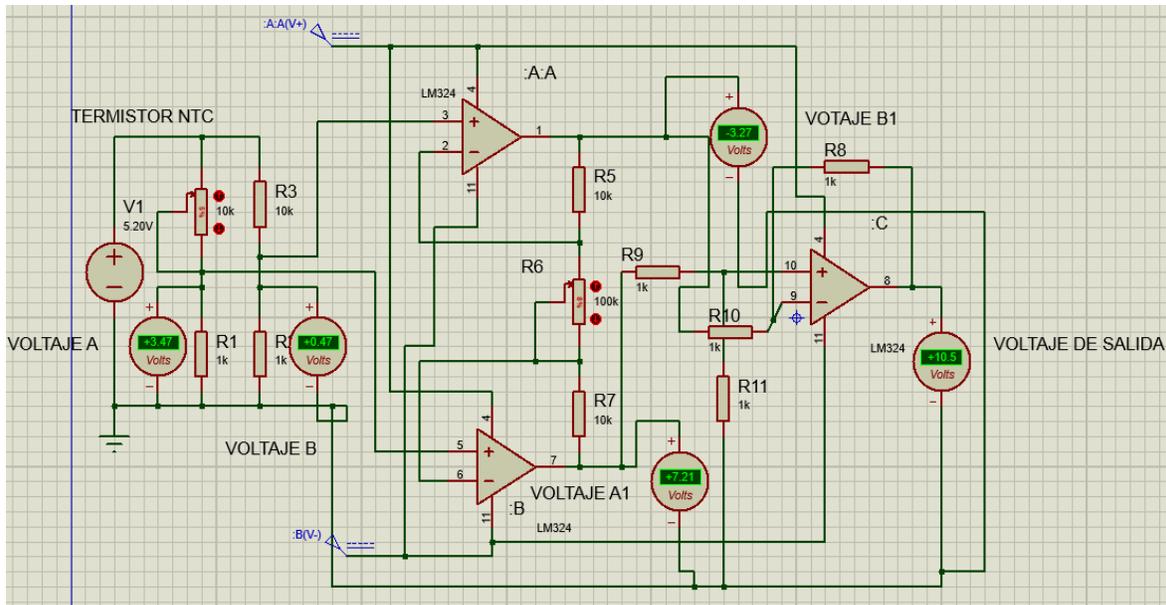


Figura 4.21. Conexión del puente de Wheatstone con el Amplificador de instrumentación.

Se colocaron diferentes valores de resistencia en el termistor NTC para comprobar si concordaban con los datos reales obtenidos en las pruebas anteriores tanto en la simulación de SIMULINK como en la de **Proteus** y los valores de voltaje fueron muy parecidos, de esta manera se concluye que nuestro circuito trabaja adecuadamente con los parámetros deseados.

La librería Simscape de SIMULINK que se utilizó para elaborar la simulación del puente de Wheatstone con el amplificador de instrumentación, no es compatible con los bloques de las librerías de SIMULINK, por lo tanto los bloques que contiene la librería Real Time Toolbox no se pueden utilizar para obtener los datos en tiempo real de nuestro circuito en cuestión, de tal forma que se utilizó la ecuación de voltaje de salida del amplificador de instrumentación para obtener una ecuación general para la simplificación de nuestro circuito.

4.5 Termistor NTC y amplificador de instrumentación virtual

De acuerdo a la Figura 4.8, se utilizan las nomenclaturas de las resistencias y voltajes representados en el circuito amplificador de instrumentación para el desarrollo del circuito, para este desarrollo se expresa en forma canónica la siguiente fórmula: [12]

$$V_o = -V_1 \left(\frac{R'_1}{R_G} * \frac{R'_3}{R_G + R'_2} * \frac{R_2 + R_3}{R_2} * \frac{R_1 + R_G}{R_G} * \frac{R_3}{R_2} \right) + V_2 \left(\frac{R'_3}{R_G} * \frac{R_G + R'_1}{R'_3 + R'_2} * \frac{R_2 + R_3}{R_2} + \left(\frac{R_1}{R_G} * \frac{R'_3}{R_2} \right) \right) \quad (4.11)$$

Sustituyendo valores de resistencia de acuerdo a $R'_1 = 10K\Omega$, $R_1 = 10K\Omega$, $R'_2 = 1K\Omega$, $R_2 = 1K\Omega$, $R'_3 = 1K\Omega$, $R_3 = 1K\Omega$ y $R_G = 8K\Omega$.

$$V_o = -V_1 \left(\frac{10K\Omega}{8K\Omega} * \frac{1K\Omega}{1K\Omega + 1K\Omega} * \frac{1K\Omega + 1K\Omega}{1K\Omega} * \frac{10K\Omega + 8K\Omega}{8K\Omega} * \frac{1K\Omega}{1K\Omega} \right) + V_2 \left(\frac{1K\Omega}{8K\Omega} * \frac{8K\Omega + 10K\Omega}{1K\Omega + 1K\Omega} * \frac{1K\Omega + 1K\Omega}{1K\Omega} + \left(\frac{10K\Omega}{8K\Omega} * \frac{1K\Omega}{1K\Omega} \right) \right) \quad (4.12)$$

$$V_o = -V_1(1.25 * 0.5 * 2) + (2.25 * 1) + V_2(0.125 * 9 * 2) + (1.25 * 1) \quad (4.13)$$

$$V_o = -V_1(3.5) + V_2(3.5) \quad (4.14)$$

Donde la ganancia (A_v) de nuestro circuito es:

$$A_v = 3.47 \cong 3.5 \quad (4.15)$$

De este modo reescribimos la ecuación (4.14), como $V_1 = V_B$ y $V_2 = V_A$ de tal forma que la ecuación que utilizaremos para la simulación en SIMULINK será:

$$V_o = -V_B(A_v) + V_A(A_v) \quad (4.16)$$

Con la ecuación (4.16) se puede simular el comportamiento del circuito amplificador de instrumentación por medio de SIMULINK, utilizando bloques para la ecuación (4.16).

En la Figura 4.22, se observa la conexión de bloques de acuerdo al comportamiento matemático de nuestro circuito amplificador de instrumentación, al inicio se colocaron los bloques de la librería Real Time Toolbox, el bloque que representa la entrada es el bloque RT In, como ocupamos dos entradas (V_B y V_A), se coloca otro bloque RT In1, los valores de voltaje provenientes del puente de Wheatstone se colocan en los bloques RT In para después multiplicarlos por la ganancia de nuestro circuito, ya teniendo estos pasos se suman los dos valores correspondientes y se coloca un bloque llamada Scope para observar de manera gráfica el comportamiento de nuestro circuito.

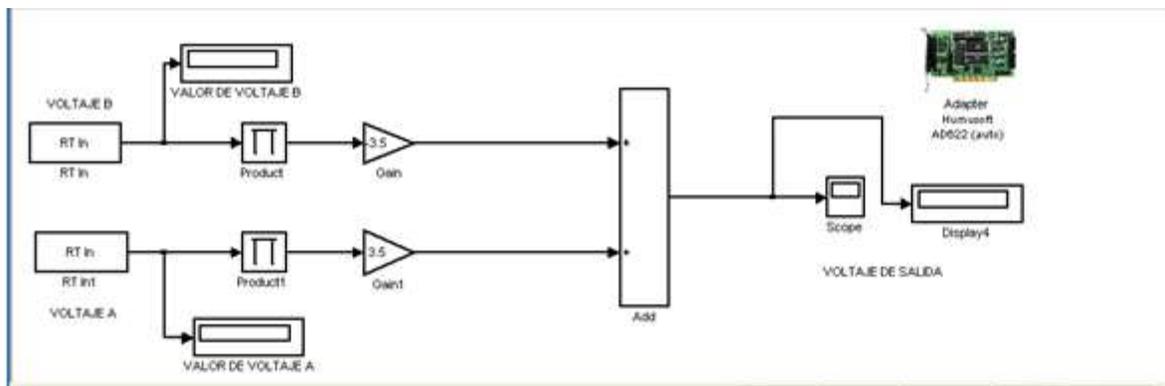


Figura 4.22. Conexión de bloques en SIMULINK de acuerdo a la ecuación (4.16), que corresponde al comportamiento del circuito Amplificador de instrumentación. [3]

A continuación se muestra el comportamiento real de nuestro circuito puente de Wheatstone y de forma virtual el circuito Amplificador de instrumentación, se obtuvo la gráfica del comportamiento de acuerdo al incremento de temperatura que se le aplicó a nuestro termistor NTC.

En la Figura 4.23, se muestra el circuito puente de Wheatstone, con un multímetro conectado en la salida de voltaje A, para comparar los valores de voltaje obtenidos en real y virtual, también se puede observar la medición de temperatura donde se utilizó un termopar tipo J.



Figura 4.23. Conexión del puente de Wheatstone aplicando temperatura al termistor NTC.

Nuestro medio de temperatura llegó a su punto de estabilidad a 93 °C de acuerdo con la Figura 4.24, donde se puede observar los valores voltaje y de temperatura representados por 2 multímetros, al diagrama de bloques de SIMULINK se colocaron en diferentes puntos los bloques llamados Display para observar los valores de voltaje y compararlos con los valores obtenidos con el multímetro.

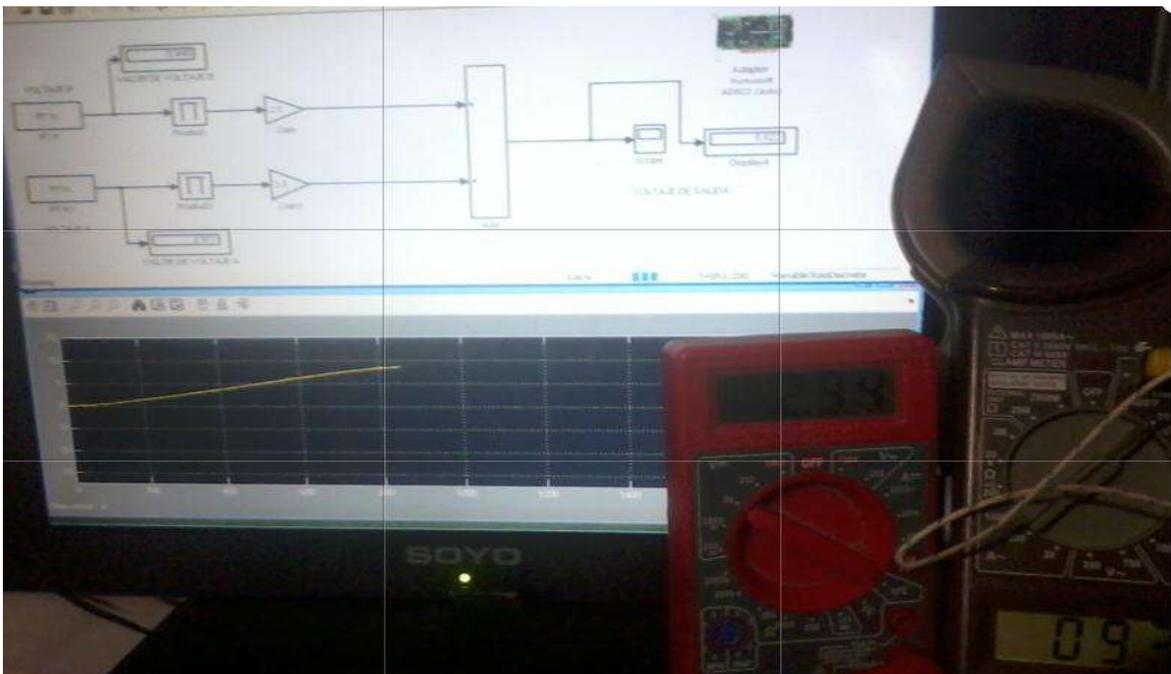


Figura 4.24. Datos obtenidos durante la prueba implementada en SIMULINK en tiempo real.

En la Figura 4.25, se observa la respuesta de forma gráfica de nuestro circuito, alcanza una temperatura de 93 C que corresponde al voltaje $A = 2.94v$ y un valor de salida $= 8.622v$.

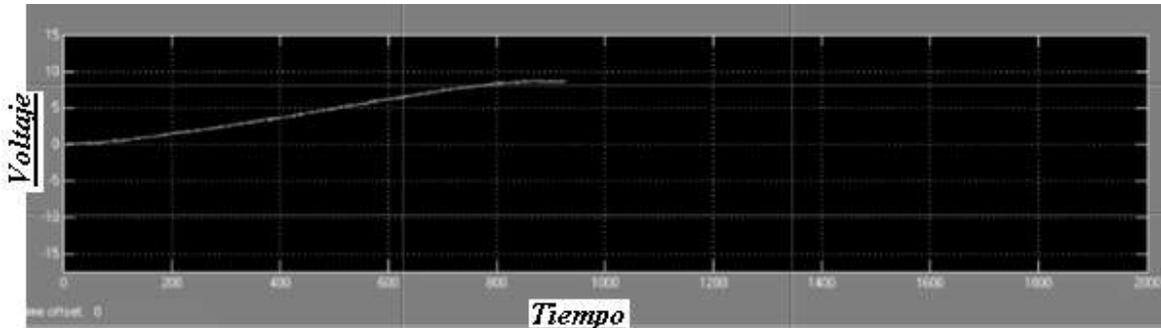


Figura 4.25. Respuesta de nuestro circuito final en tiempo real con SIMULINK.

4.6 Amplificador de instrumentación virtual conectado al sensor LM35

Para alimentar el sensor de temperatura LM35 se utilizó la terminal 28 que nos proporciona 5v de CD, también utilizamos la terminal 9 que es la tierra analógica de la tarjeta HUMUSOFT AD-622, la entrada que se declaró en el bloque RT In fue la 3.

El sensor de temperatura LM35 entrega valores de $10mV/ C$ además que su salida es lineal, para lograr que a 25 C tenga un voltaje de salida de 0v en nuestro amplificador de instrumentación y a 100 C de un voltaje de salida de 10v se utiliza la ecuación (4.16) del Amplificador de instrumentación para obtener la ganancia adecuada. [12]

$$V_o = -V_B(A_v) + V_A(A_v) \quad (4.16)$$

Reacomodando la ecuación (4.16), queda:

$$V_o = (V_A - V_B)(A_v) \quad (4.17)$$

Como queremos que nuestro voltaje de salida sea de 0 a 25 C y 10v a 100 C despejamos la ganancia, de donde el voltaje A será 1v ya que nuestro sensor de temperatura nos entrega a 100 C un valor de voltaje de 1v y a 25 C entrega 0.25v.

$$V_o = (1 - 0.25)(A_v) \quad (4.18)$$

Despejamos la ganancia:

$$A_v = \frac{10}{0.75} = 13.333 \quad (4.19)$$

Por lo tanto nuestra ganancia será de 13.333, en la Figura 4.26, se muestra el diagrama de bloques en SIMULINK para la simulación del Amplificador de instrumentación con el sensor de temperatura LM35, donde se coloca una constante de 0.25 y su respectiva ganancia 13.333.

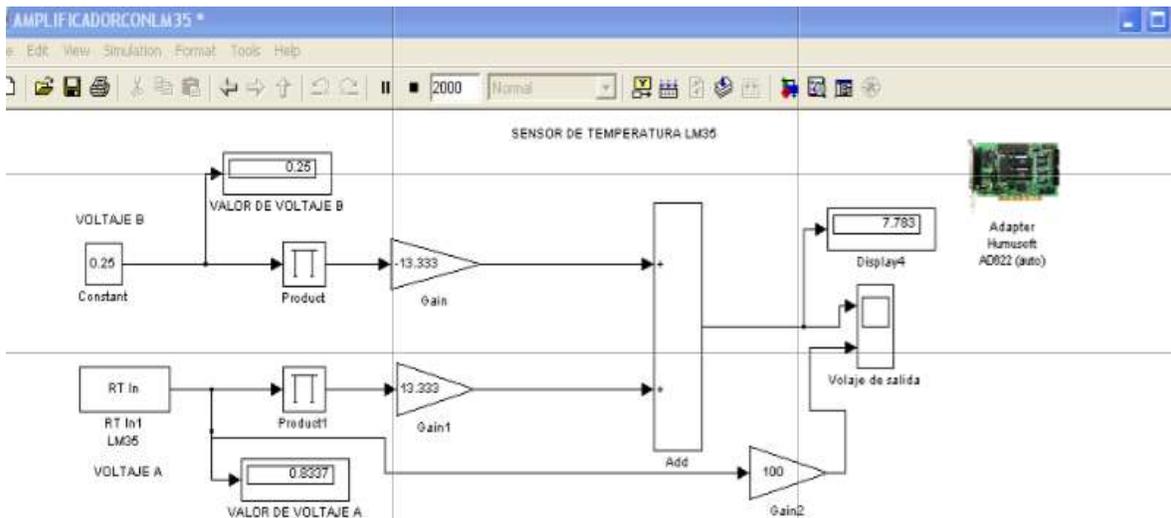


Figura 4.26. Diagrama de bloques en SIMULINK para interactuar con el sensor LM35. [3]

Se obtuvieron las siguientes gráficas de acuerdo al voltaje de salida y la temperatura que se le aplico al señor LM35. En la Figura 4.27, se muestra la respuesta del Amplificador de instrumentación al aplicarle calor al sensor de temperatura LM35. Las dos gráficas que a continuación se observan son muy parecidas ya que los valores de salida del sensor de temperatura LM35 son proporcionales al valor de voltaje de salida.

4.7 Comparación del comportamiento del termistor NTC y el sensor LM35

El termistor NTC no es lineal además necesita ser calibrado externamente, para calibrarlo utilizamos el puente de Wheatstone, una de las cualidades del termistor es su bajo costo a comparación del sensor de temperatura LM35, este tipo de termistores es muy útil para aplicaciones en muchos procesos donde se tenga poco espacio.

Una de las ventajas de utilizar termistores NTC es que cuentan con sólo dos terminales lo que lo hace más versátil que el sensor de temperatura LM35, consume menos energía. La desventaja principal que ocurre con el termistor NTC es que no se puede conectar directamente a las entradas de la tarjeta HUMUSOFT AD-622 ya que este tipo de tarjetas de adquisición de datos no trabaja con valores de resistencia (Ω), por tal razón se utilizó en forma física el puente de Wheatstone conectándole el termistor NTC. [f]

El sensor de temperatura LM35 tiene variantes respecto al termistor NTC, cuenta con una precisión calibrada de 1 $^{\circ}\text{C}$, la salida que proporciona este sensor es lineal y cada grado equivale a 10 mV, también está calibrado directamente a grados centígrados, además que este tipo de encapsulado no requiere circuitos adicionales para calibrarlos externamente, maneja una baja corriente de alimentación por lo tanto no sufre de auto calentamiento.

Por lo expuesto anteriormente del sensor de temperatura LM35, éste dispositivo si interactúa con la tarjeta de adquisición HUMUSOFT AD-622 ya que maneja valores de voltaje en su salida, por lo tanto, las pruebas realizadas para sensar la temperatura fueron más accesibles que las pruebas realizadas con el termistor NTC debido a que no ocupa de calibración exterior con el puente de Wheatstone, tiene la gran ventaja de conectar directamente nuestro elemento sensor de temperatura.

De acuerdo a las pruebas realizadas tanto con el termistor NTC y con el sensor de temperatura LM35, el LM35 es compatible directamente con la tarjeta HUMUSOFT AD-622 y por lo tanto es el más adecuado ya que maneja valores de voltaje a su salida.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

La elaboración de esta investigación recae en la instrumentación virtual que proporciona la tarjeta de adquisición de datos HUMUSOFT AD-622, esta herramienta es de gran importancia ya que con ella se lleva a cabo el control y la medición en tiempo real de manera gráfica, podemos modificar los parámetros del sistema mediante el programa MATLAB SIMULINK a través de la PC con esto se logra un mejor control para los usuarios ya que es de fácil comprensión y manejo.

La implementación de nuestro sistema de instrumentación consiste en simular a partir del modelo matemático del amplificador de instrumentación en el entorno virtual de SIMULINK, con el diseño de sistemas de instrumentación de temperatura virtual se puede mejorar la precisión de respuesta ante cambios de temperatura, además se reducen los problemas de cableado y los falsos contactos producidos durante el conexionado.

La versatilidad del sistema de instrumentación virtual desarrollado se probó con dos elementos de medición de temperatura el termistor NTC y el sensor de temperatura LM35 comprobando para cada uno que cumplen con los requerimientos de nuestro sistema, cada elemento antes mencionado tiene características similares con excepción de la calibración mientras que el termistor NTC necesita un circuito externo (puente de Wheatstone), el sensor de temperatura LM35 ya viene equipado con la calibración, además que las librerías de Real Time Toolbox manejan parámetros de voltaje y no de resistencia, se llega a la conclusión que el sensor LM35 es el más adecuado para este tipo de instrumentación virtual.

La herramienta computacional MATLAB SIMULINK, contiene un entorno gráfico de fácil manejo y en él se puede simular diferentes circuitos a partir de su modelo matemático.

Para cuestiones didácticas se puede incorporar a las diferentes materias de la facultad que van relacionadas con la intervención de MATLAB SIMULINK, de tal forma que el alumno y el profesor desarrollen sistemas de instrumentación que sean compatibles con la tarjeta de adquisición de datos HUMUSOFT AD-622 y a través de la PC tomar decisiones de incremento o decremento de voltajes y corrientes, adaptándose a la necesidad de los procesos industriales ya que la tecnología evoluciona cada vez más.

Uno de los inconvenientes de utilizar las tarjetas de adquisición de datos es su precio ya que son bastante costosas debido a contienen un potente software, cabe señalar que este tipo de tarjetas mejoran significativamente el diseño de sistemas de instrumentación virtuales dando como lugar una mejor calidad de los sistemas.

5.2 Trabajos futuros

Una de las aplicaciones que se incorporarían sería el monitoreo mediante una conexión Wifi (internet) acoplada a la tarjeta HUMUSOFT AD-622, de esta manera se tendría el control de diferentes procesos industriales, domésticos y comerciales donde se requiera tener un desempeño eficaz y que no sea peligroso para los operarios, también con la incorporación de control a distancia se reduciría el costo de mano de obra, el mantenimiento de los sistemas sería más fácil y rápido.

También se pueden incorporar diferentes elementos de medición como de velocidad, presión, flujo, tiempo, longitud entre otras, de esta manera se tiene un gran rango de posibilidades de controlar fenómenos físicos que van de la mano con la vida cotidiana del ser humano y que en la actualidad se requieren medir diferentes fenómenos físicos para prevenir accidentes laborales, así como prevenir desastres naturales.

Preguntas:

1. ¿Cuál es el precio de la tarjeta? El precio de la tarjeta de adquisición de datos HUMUSOFT AD-622, se encuentra actualmente en el precio de 730 Dólares.
2. ¿Por qué usar la tarjeta HUMUSOFT AD-622 y no las tarjetas NI USB 6008, Arduino, Vernier LabPro, entre otras? La ventaja de usar la tarjeta HUMUSOFT AD-622 es que maneja el sistema de Real Time esto quiere decir que, se puede trabajar tanto la gestión como la adquisición en las maquinas a controlar, además que cuenta con más salidas que otras tarjetas, la tarjeta HUMUSOFT AD-622 es compatible con el sistema operativo Windows, y interactúa con el sistema de lenguaje de programación MATLAB (SIMULINK), cada tarjeta de adquisición de datos tiene ventajas y desventajas una de otra.
3. ¿Cuáles son los alcances de la tarjeta HUMUSOFT AD-622? Los alcances de este tipo de tarjeta HUMUSOFT AD-622 son variados ya que es utilizada en diferentes sectores industriales como: medidas de tensión de corriente continua, interfaz con sensores y transductores, análisis de vibración y transitorios, monitorización y control de procesos, adquisición de formas de onda y análisis, adquisición de datos multicanal, simulación en tiempo real, además se utiliza en salidas de tensión programable.
4. ¿La tarjeta HUMUSOFT AD-622 es compatible con el software de desarrollo de sistemas LabView? No es compatible la tarjeta HUMUSOFT AD-622 ya que solo se maneja en el sistema operativo Windows.
5. ¿Cuál es objetivo principal de realizar una correcta medición? Al realizar una medición adecuada y con instrumentos precisos se logra obtener la información que se requiere para el proceso al cual se le requiere automatizar, de tal manera que entre más precisa sea la medición, el control de nuestro proceso será más confiable.

Apéndices

A. Configuración de los parámetros en SIMULINK

Para un mejor desempeño de la simulación de nuestro sistema de instrumentación virtual elaborado en SIMULINK, se procede a configurar los parámetros. En la Figura A.1, se muestra los parámetros que se deben de modificar para que nuestra simulación no marque error.

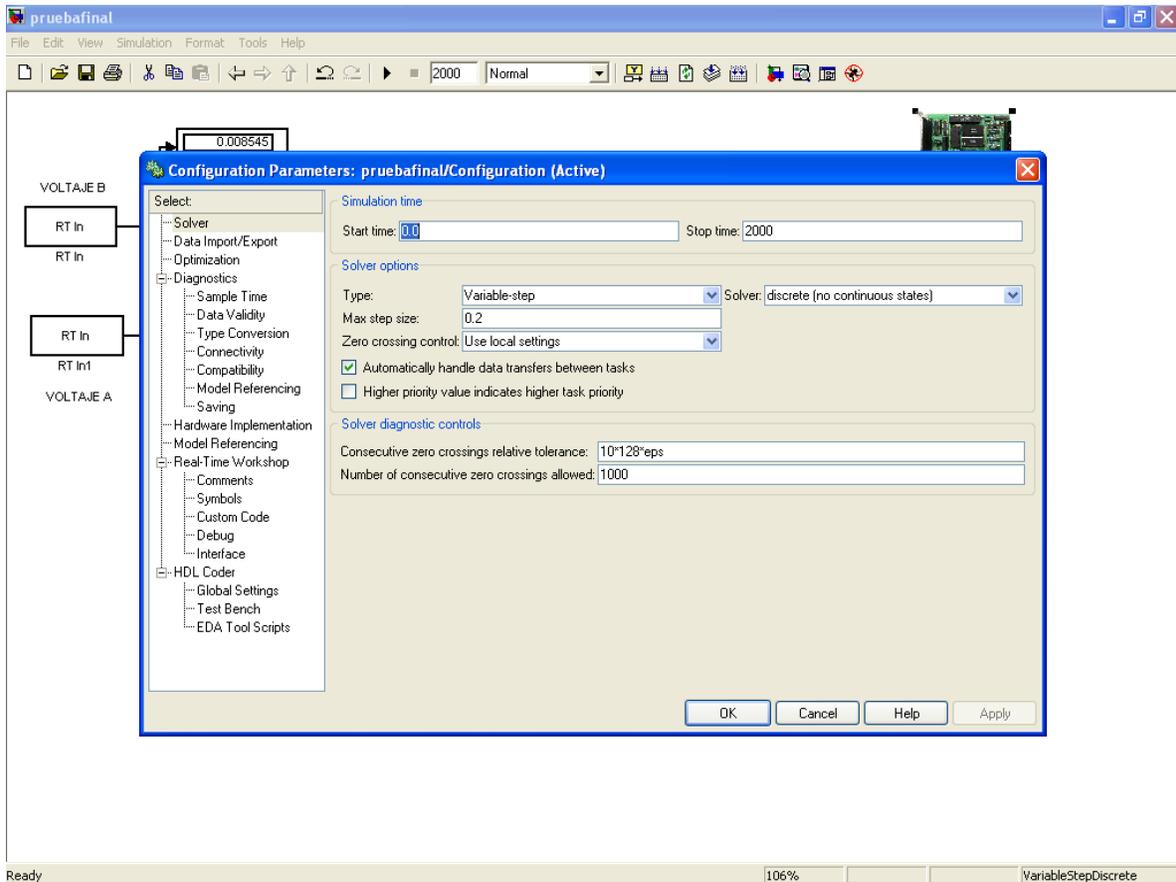


Figura A.1. Ventana de configuración de parámetros para la simulación. [3]

En la Figura A.1, se observa los parámetros de configuración, para activar esta ventana se procede a ir a la opción (Simulation) que se encuentra en la parte superior derecha de a imagen, hacemos clic y nos aparecerá (Configuration Parameters).

Uno de los parámetro que se modifica es el (stop time) que se refiere al tiempo de simulación, se elige un tiempo razonable para obtener los parámetros correctos, otro parámetro a modificar es (Type) con esta opción se declara el tipo de variable, por último se modifica el parámetro de (Solver) donde indicamos si nuestro sistema es continuo o discreto.

B. Configuración de los bloques de la librería Real Time Toolbox.

Comenzamos con la configuración del bloque **RT In**, en la Figura B.1, se muestra los parámetros que se modificaron, se indica el tipo de entrada en (Input type) en nuestro caso se elige una entrada analógica, también se declara el canal de entrada en nuestro caso se elige la terminal 3, para el parámetro de (Output units) esta opción se refiere a el tipo de unidad que se requiera en nuestro caso se elige la unidad de volts. [3]

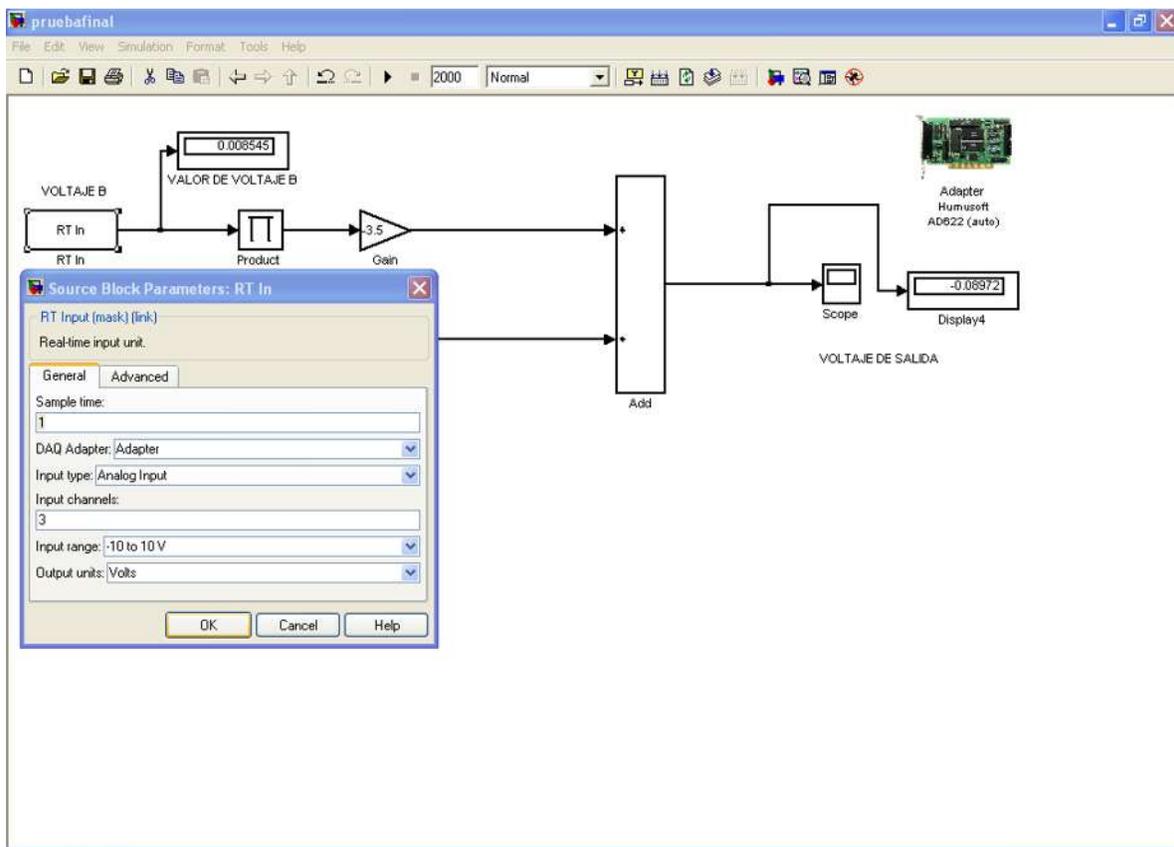


Figura B.1. Configuración de parámetros del bloque RT In de Real Time Toolbox de SIMULNIK.

Se elige el bloque **Adapter Humusoft AD-622** como se muestra en la Figura B.2, este bloque es el encargado de activar la librería de Real Time Toolbox, consta de activar su controlador haciendo doble clic sobre el bloque, se elige la carpeta Humusoft y dentro de esta se selecciona el archivo AD622.rtd y listo nuestra tarjeta de adquisición de datos HUMUSOFT AD-622 quedara activada para trabajar con los bloques de la librería Real Time Toolbox.

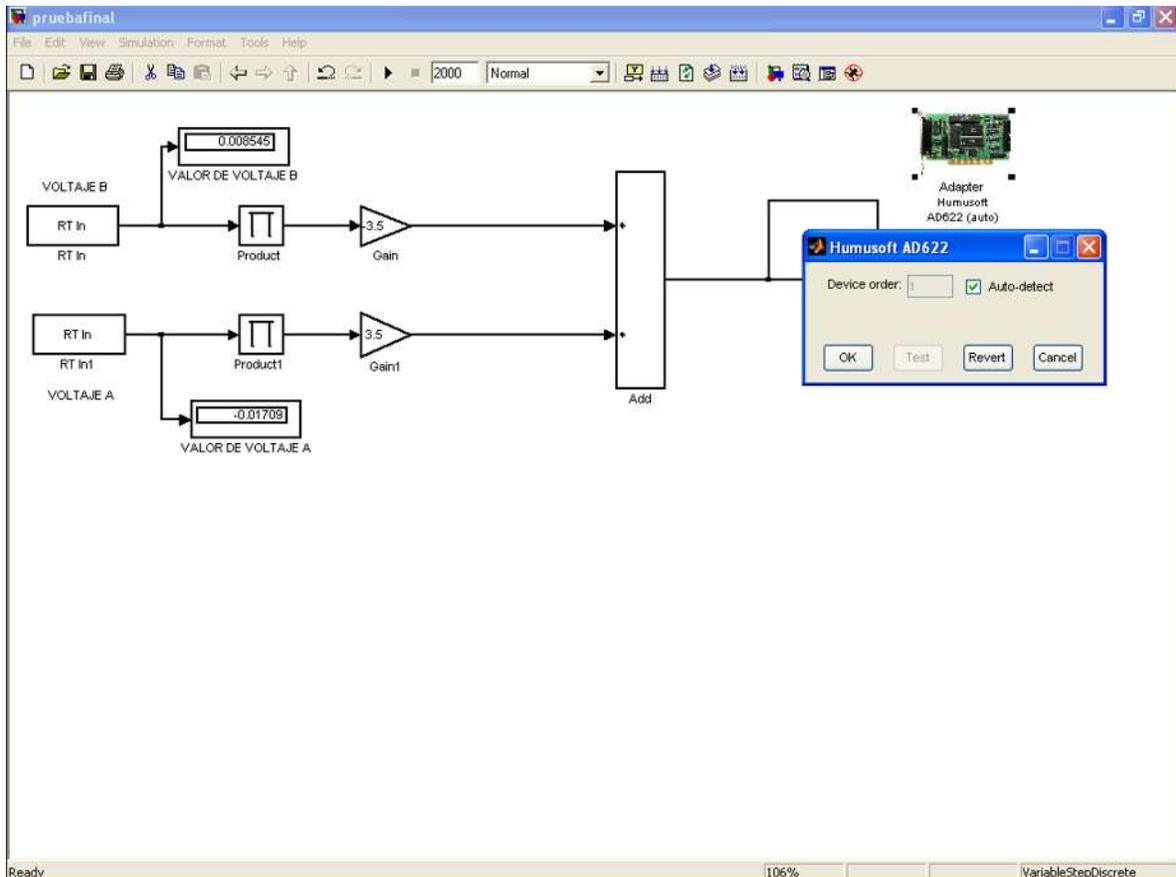


Figura B.2. Configuración de parámetros del bloque Adapter Humusoft AD622. [3]

Bibliografía

1. Practicas del Laboratorio de Electrónica “Ing. Luis García Reyes” Laboratorio de instrumentación.
2. Manual de usuario de la tarjeta HUMUSOFT AD-622, HUMUSOFT.
3. Manual de Matlab SIMULINK. The Match Works.
4. Boix, J.C. (2014). Metodología y calibración de variables de control utilizadas en sistemas navales e industriales. Facultad de Nautica de Barcelona.
5. Caetano, W. (2006). Medida de temperatura mediante TERMORESISTENCIAS. Universidad de la Republica.
6. Guerrero, I. S. (2002). TERMOPARES.
7. Historia, B. BREVE HISTORIA. Breve Historia.
8. HUMUSOFT. (2006). Patente nº AD-622. Czech Republic.
9. HUMUSOFT, R. T. (2006). Patente nº 4.0. Czech Republic.
10. Marquez, FUNDAMENTOS DE MEDICION DE TEMPERATURA. Termistores.
11. Medicion, MEDICION DE TEMPERATURA.
12. Moyano, INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE INSTRUMENTACION. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.
13. Practica. Medida de Resistencia con el Puente de Wheatstone.
14. Proteus. (2015).
15. Puente de Wheatstone.
16. Quintero, H. SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN CONTROLADOR DE VELOCIDAD DE MOTOR CD CON TARJETA AD-622 HUMUSOFT.
17. Semiconductors, P. (1995).
18. Sensores. CAPITULO VII. SENSORES.
19. Transductor. TRANSDUCTOR. TRANSDUCTOR.
20. viera, A. R. Diseño de sistemas de instrumentación.
21. Vignoni. MEDICION DE TEMPERATURA. Instrumentación y Comunicaciones Industriales.

Páginas Web

- a) Blogodicea. (2010). BLOGODICEA. 2015.
<http://www.blogodicea.com/que-es-efecto-seebeck.html>.
- b) Carletti, ROBOTS.
http://robots-argentina.com.ar/Sensores_integradost.htm.
- c) Gallego, TECNOASTRO.
<http://www.tecnoastro.es/tecnologia/encoplus.html>.
- d) National Instruments.
<http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>.
- e) Instruments, Lm35.
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>.
- f) Lm35.
<http://www.instructables.com/id/LM35-Temperature-Sensor/>.
- g) Marcano, Electronica Integrada.
<http://iindustrialobolog.es/medidor-temperatura-termopar-86703>.
- h) Nigro.
<https://lagalenadelosur.wordpress.com/2012/11/20/otro-museo-se-va-al-cajon-el-museo-del-radioaficionado-de-uruguay/>.
- i) Unillanos. INSTRUMENTACION ELECTRONICA 1.
<https://bloginstrukarime.wordpress.com/2013/04/09/puente-de-wheatstone/>.