

REORGANIZACION DEL MÓDULO DE TEMPERATURA CON LA IMPLEMENTACIÓN
DEL PROCESO DE CONFIGURACIÓN DE TRANSMISORES EN EL LABORATORIO
DE INSTRUMENTACIÓN DE LA UPB

MAYRA ALEJANDRA VARGAS CETINA
CARLOS ANDRES ESTUPIÑAN BLANCO



FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA
ESCUELA DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
BUCARAMANGA

2020

REORGANIZACION DEL MÓDULO DE TEMPERATURA CON LA IMPLEMENTACIÓN
DEL PROCESO DE CONFIGURACIÓN DE TRANSMISORES EN EL LABORATORIO
DE INSTRUMENTACIÓN DE LA UPB

MAYRA ALEJANDRA VARGAS CETINA
CARLOS ANDRES ESTUPIÑAN BLANCO

TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO ELECTRONICO

DIRECTOR DEL PROYECTO
JUAN CARLOS MATILLA SAAVEDRA

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA
ESCUELA DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
BUCARAMANGA

2020

Nota de aceptación

Firma del director del proyecto

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Dar gracias a Dios por guiar mis pasos en esta carrera tan bonita y llena de retos.

A mis padres Rafael Estupiñán y Belcy Blanco que desde el principio me han apoyado y han sido ejemplo de perseverancia, honestidad y dedicación siempre estando ahí en cada momento de desvelo e impotencia.

A mi novia Mayra Alejandra Rincón la cual me acompaño en este camino convirtiéndose en mi apoyo moral siempre teniendo la palabra correcta para hacerme seguir adelante por más duro que fuese el camino.

A mi director de tesis Juan Carlos Mantilla Saavedra el cual estuvo en este camino de tesis muy atento y paciente a resolver todas nuestras dudas incluso en momentos de descanso o abriendo un pequeño espacio en su agenda apretada convirtiéndose casi en un familiar más.

A Alejandra Vargas mi compañera de tesis con la cual hemos compartido momentos de estrés y días sin dormir de los cuales siempre hemos salido adelante, pero si me dieran a escoger de nuevo una compañera de tesis no dudaría en elegirla de nuevo.

Dar infinitas gracias a la facultad de ingeniería Electrónica por tener excelentes profesionales que guiaron mi camino hasta el final volviéndome un profesional capacitado para la sociedad.

A mi núcleo de compañeros los cuales siempre me dieron su apoyo, amistad y conocimiento sin esperar nada a cambio haciendo este camino al grado más agradable.

Gracias a todos

Carlos Andrés Estupiñán Blanco.

En primer lugar, deseo agradecer a Dios por ser mi fortaleza día a día, por brindarme salud y sabiduría para lograr mis sueños. Agradezco a Dios por mi vida y por la vida de las personas que me acompañaron en este proceso lleno de aprendizaje y retos.

Doy gracias a mis padres Abdon Vargas castro y Claudia del Roció Cetina Suarez por contribuir a que mi sueño de ser ingeniera electrónica se hiciera realidad, por el apoyo incondicional que recibí durante la carrera, por la perseverancia que me impartieron en los momentos difíciles. Gracias a mis padres por los excelentes valores que me inculcaron, pero sobre todo por el inmenso amor que me brindan. Son un ejemplo de vida. Madre gracias por tu esfuerzo día a día para que yo lograra cumplir mis objetivos y metas por tus oraciones incansables, gracias por vivir constantemente pendiente de mí, por estar presente en mis momentos de alegría y tristeza y ayudarme con tu alegría y amor a sobrellevarlos; hoy quiero dedicar esta tesis de grado especialmente a ustedes porque en esta carrera no solo deposite mis sueños sino los de ustedes también que confiaron en mí. A mi hermano Camilo Eduardo Vargas cetina gracias por ser una parte fundamental en mi vida y representar la mejor herencia familiar que puedo tener.

Mi sueño comenzó con la admiración, es por esto, que quiero dedicar esta tesis a mi primo Alejandro rojas cetina que hoy no se encuentra en este espacio terrenal pero que fue el pilar fundamental para escoger esta hermosa carrera. Gracias por crear en mi esa pasión por los retos.

A mis tíos Lucila Castro y Crisóstomo Ardila por brindarme su apoyo en los momentos que más lo necesité, mostrando su bondad y cariño hacia mí. A Julian Andrés Pabon por haber acompañado durante todo el proceso de mi carrera, creyendo en cada una de mis ideas y enseñándome que el éxito es la suma de los pequeños esfuerzos repetidos día tras día, gracias por ver en mi un ser humano capaz e inteligente. Agradezco a Pedro Morales el cual me brindó su ayuda, su entrega, su compromiso y su interés para que llegara hoy hasta aquí.

A Carlos Andrés Estupiñán Blanco por ser un gran amigo y compañero de tesis, aportando su granito de arena y siendo un apoyo incondicional para que juntos consiguiéramos este gran logro.

A mi director de tesis el ingeniero Juan Carlos Mantilla Saavedra por su confianza y apoyo, enriqueciendo nuestro camino de aprendizaje con sus consejos, sus opiniones y sus enseñanzas.

Agradezco a todos los miembros de la facultad de ingeniería electrónica de la universidad pontificia bolivariana por contribuir de una u otra manera con mi proceso de formación no solo en el enfoque académico sino también en el sentido humano. A mis compañeros de universidad por brindarme su amistad y compañerismo compartiendo conmigo vivencias y aprendizajes.

Gracias a todos.

Mayra Alejandra Vargas Cetina

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	17
1 MARCO TEORICO	18
1.1 TEMPERATURA	18
1.2 ESCALAS DE TEMPERATURA	18
1.2.1 Escalas Relativas	19
1.2.1.1 Escala Celsius	19
1.2.1.2 Escala Fahrenheit	20
1.2.2 Escalas absolutas	20
1.2.2.1 Escala kelvin	20
1.3 UNIDADES DE CONVERSIÓN DE TEMPERATURA	21
1.4 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA.	21
1.4.1 Termómetros por contacto	22
1.4.1.1 Termómetro de vidrio	22
1.4.1.2 Termómetro bimetalico	23
1.4.1.3 Termómetro de bulbo	23
1.4.1.4 Termómetros resistivos	24
1.4.1.5 RTD	25
1.4.1.6 Termopar	27
1.4.1.7 Tipos de Termopares	27
1.4.1.8 Termistor	29
1.4.1.8.1 Tipos de termistores	29

1.4.1.9	Sensor de temperatura Lm35	30
1.4.2	Termómetros por no contacto	31
1.4.2.1	Pirómetros	31
1.4.2.2	Pirómetros de radiación	32
1.4.2.3	Pirómetros de infrarrojo.	33
1.4.2.4	Pirómetros ópticos	34
1.4.2.5	Termografía	34
1.4.2.5.1	Cámara termográfica	35
1.5	TERMOPOZOS	36
1.6	INDICADORES DE TEMPERATURA	36
1.7	TRANSMISORES DE TEMPERATURA	37
1.7.1	Transmisor sitrans th300 siemens	37
1.7.2	Transmisor xu2hn y xu2	38
1.7.3	Tipos de transmisores de temperatura	39
1.8	CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	40
1.8.1	Rango	40
1.8.2	Error	41
1.8.3	Exactitud	41
1.8.4	Precisión	41
1.9	METROLOGÍA Y ESTÁNDARES DE MEDICIÓN	42
1.9.1	Metrología	42
1.9.1.1	Metrología legal	43
1.9.1.2	Metrología científica	43

1.9.1.3	Metrología industrial	43
1.9.2	Calibrar	43
1.9.3	Equipos utilizados para calibrar	44
1.9.3.1	Horno metrológico fluke 9142	44
1.9.3.2	Baño líquido	45
1.9.4	Ajustar	45
1.9.5	Verificar	45
1.9.6	Repetibilidad	46
1.9.7	Incertidumbre	46
1.9.8	Trazabilidad	46
1.10	MÓDULO DE TEMPERATURA	46
2	DISEÑO DEL MODULO DE TEMPERATURA	47
2.1	RECONOCIMIENTO Y ANALISIS DE CONDICIONES INICIALES DEL MODULO DE TEMPERATURA	47
2.1.1	Reconocimiento del estado actual del módulo de temperatura	47
2.1.1.1	Análisis de condiciones actuales de operación	50
2.1.2	Inventario de instrumentos	50
2.2	DISEÑO DE ESTRUCTURA, DISTRIBUCIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL MÓDULO	51
2.2.1	Reorganización del espacio y diseño de estructura.	51
2.2.2	Ensamblaje de piezas individuales en la estructura y representación gráfica en 3d de la nueva distribución.	55
3	CONFIGURACIÓN DE TRASMISORES DE TEMPERATURA PARA LAZOS DE CONTROL ESTANDARIZADOS.	59

3.1	VERIFICACIÓN DEL SOFTWARE Y HARDWARE PARA LA CONFIGURACIÓN DE LOS TRANSMISORES.	59
3.2	MONTAJE DEL LAZO DE CORRIENTE EN LÍNEA CON EL CONFIGURADOR.	69
3.3	PRUEBAS DE OPERACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DE LOS TRANSMISORES DE TEMPERATURA	73
3.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	84
4	ACTUALIZACION DE GUIAS DE LABORATORIO	86
4.1	MODIFICACIÓN DE GUÍAS DE LABORATORIO CON LAS NUEVAS CONDICIONES DE OPERACIÓN	86
4.2	DESARROLLO DE GUÍA DE LABORATORIO PARA EL PROCESO DE CONFIGURACIÓN DE TRANSMISORES EN LAZO DE CONTROL ESTANDARIZADO.	87
4.3	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	87
	RECOMENDACIONES	89
	CONCLUSIONES	90
	BIBLIOGRAFIA	91
	ANEXOS	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Escala Celsius representado en un termómetro de mercurio.....	19
Figura 2.	Escala de temperatura Celsius y Kelvin.	20
Figura 3.	Conversión de unidades de temperatura.	21
Figura 4.	Componentes del Termómetro liquido de vidrio.	22
Figura 5.	Funcionamiento del termómetro bimetalico.	23
Figura 6.	Construcción RTD tipo bobinado.	26
Figura 7.	Funcionamiento de un termopar	27
Figura 8.	Comportamiento de los termopares.	28
Figura 9.	Curvas características de los termistores.	30
Figura 10.	Esquema de conexiones del circuito integrado LM35.	31
Figura 11.	Espectro electromagnético.	33
Figura 12.	Diagrama de funcionamiento del Pirometro de infrarrojo.	34
Figura 13.	Cámara termográfica FLUKE TI10.	35
Figura 14.	Termopozos o Termovainas	36
Figura 15.	Transmisor SITRANS TH300 SIEMENS.	37
Figura 16.	Funcionamiento del transmisor SITRANS TH300.	38
Figura 17.	Transmisores Programable XU2HN y XU1	39
Figura 18.	Rango de temperatura en un termómetro.	40
Figura 19.	Representación del concepto de exactitud y precisión.	42
Figura 20.	Calibrador FLUKE 9142	44
Figura 21.	Espacio de trabajo	47
Figura 22.	Zona de trabajo para cámara termográfica	48
Figura 23.	Tablero de instrumentos	49
Figura 24.	Dimensiones del área de trabajo	51
Figura 25.	Prototipo de diseño del tablero de instrumentos	53
Figura 26.	Diseño de rejilla para acople en tablero de instrumentos	53
Figura 27.	Diseño del nuevo tablero de Instrumentos	54
Figura 28.	Ubicación y distribución general del módulo de temperatura.	55
Figura 29.	Diseño de soporte de sensores.....	56
Figura 30.	Diseño y ensamblaje de transmisores de temperatura	56
Figura 31.	Diagrama de conexiones utilizando un transmisor 4-20mA.....	57
Figura 32.	Diseño Final del módulo de temperatura	58
Figura 33.	Programador XU-USB	59
Figura 34.	Selección de instalador para transmisores	60
Figura 35.	Pantalla de inicio para instalación del Software	61
Figura 36.	Instalación de software completa	61
Figura 37.	Interfaz gráfica del software	62
Figura 38.	Lectura y ajuste del transmisor XU2HN	63
Figura 39.	Panel de conexión del transmisor XU2HN	64
Figura 40.	Advertencias de configuración del transmisor XU2	64
Figura 41.	Configuración del rango y tipo entrada en un transmisor.	65

Figura 42.	Estado de la programación.	65
Figura 43.	Error durante la programación.....	66
Figura 44.	Información de ayuda	66
Figura 45.	Ajuste de entrada cero.	67
Figura 46.	Detalles del modelo del transmisor.	67
Figura 47.	Panel de prueba del transmisor por conexión USB.....	68
Figura 48.	Interfaz de Herramientas	68
Figura 49.	Archivo .txcal	69
Figura 50.	Circuito de lazo de corriente 4-20 mA	70
Figura 51.	Estado que garantiza el lazo de 4-20 mA	71
Figura 52.	Terminal de conexiones para transmisor XU2	72
Figura 53.	Montaje físico de lazo de corriente 4-20 mA transmisor modelo XU2HN...	73
Figura 54.	Conexión de RTD para medición de resistencia en el modelo XU2HN	74
Figura 55.	Temperatura vs Corriente en rango 0-84°C en modelo XU2HN	75
Figura 56.	Temperatura vs resistencia en rango de entrada 0-84 °C	75
Figura 57.	Temperatura vs Corriente en rango de entrada 0-50°C	76
Figura 58.	Temperatura vs resistencia en rango de entrada 0-50 °C	77
Figura 59.	Temperatura vs Corriente en rango de entrada 0-15°C modelo XU2HN ..	78
Figura 60.	Temperatura vs resistencia en rango de entrada 0-15°C	78
Figura 61.	Montaje físico para pruebas de operación en transmisor modelo XU2.	79
Figura 62.	Temperatura vs Corriente en rango de entrada 0-84°C en modelo XU2 ...	80
Figura 63.	Temperatura vs resistencia en rango de entrada 0-84°C en modelo XU2	80
Figura 64.	Temperatura vs Corriente en rango de entrada 0-50°C en modelo XU2 ...	81
Figura 65.	Temperatura vs resistencia en rango de entrada 0-50°C modelo XU2 ...	82
Figura 66.	Temperatura vs corriente en rango de entrada 0-15°C en modelo XU2 ...	83
Figura 67.	Temperatura vs resistencia en rango de entrada 0-15°C en modelo XU2	83
Figura 68.	Valores de temperatura y resistencia según la ITS-90	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Líquidos conductores según el rango de temperatura	45
Tabla 2. Rango de temperatura de 0-84 °C en modelo de transmisor XU2HN	74
Tabla 3. Rango de temperatura de 0-50 °C en modelo de transmisor XU2HN	76
Tabla 4. Rango de temperatura de 0-15 °C en modelo de transmisor XU2HN	77
Tabla 5. Rango de temperatura de 0-84 °C en modelo de transmisor XU2	79
Tabla 6. Rango de temperatura de 0-50 °C en modelo de transmisor XU2	81
Tabla 7. Rango de temperatura de 0-15 °C en modelo de transmisor XU2	82
Tabla 8. Valores de resistencia de prueba y de la ITS-90	85

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Resistencia de un metal conductor.	24
Ecuación 2. Voltaje de salida del circuito Integrado LM35.	30
Ecuación 3. Intensidad de radiación.	32
Ecuación 4. Exactitud de medición.	41

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: REORGANIZACION DEL MÓDULO DE TEMPERATURA CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE CONFIGURACIÓN DE TRANSMISORES EN EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN DE LA UPB

AUTOR(ES): Mayra Alejandra Vargas Cetina
Carlos Andrés Estupiñán Blanco

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR(A): Juan Carlos Mantilla Saavedra

RESUMEN

En este proyecto se presenta la reorganización del módulo de temperatura del laboratorio de instrumentación de la UPB seccional Bucaramanga implementando el proceso de configuración de transmisores. Inicialmente se presenta el reconocimiento y el análisis de las condiciones actuales del módulo de temperatura, así como de las condiciones de operación de éste. Lo anterior es llevado a cabo mediante un inventario de cada uno de los instrumentos que integran el módulo de temperatura. Seguidamente, se realiza el diseño de la estructura del tablero de instrumentos y la distribución de los elementos teniendo en cuenta el espacio disponible en el laboratorio, las especificaciones de los instrumentos y el análisis realizado previamente. Posteriormente, para la implementación de los transmisores de temperatura, inicialmente se realizó la configuración requerida para poner en funcionamiento los transmisores. El método utilizado para la implementación fue un lazo de corriente de 4-20 mA a través de un circuito en serie. Para comprobar el funcionamiento del lazo de corriente se realizaron pruebas a los transmisores en donde se registraron los valores de temperatura contra resistencia y corriente. Luego, los resultados obtenidos de las pruebas de operación fueron analizados indicando que la relación existente entre temperatura y corriente es una respuesta completamente lineal una vez el transmisor de temperatura incorpora la señal de la RTD y convierte esta al estándar 4-20 mA. Finalmente se realizó la actualización de la guía correspondiente al baño húmedo y el diseño de una nueva guía de laboratorio la cual tiene como objetivo desarrollar el proceso de configuración de transmisores de temperatura para lazo de control estandarizado.

PALABRAS CLAVE:

RTD, Transmisor, Lazo de control estandarizado, respuesta lineal

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: REORGANIZATION OF THE TEMPERATURE MODULE WITH THE IMPLEMENTATION OF THE TRANSMITTER CONFIGURATION PROCESS IN THE UPB INSTRUMENTATION LABORATORY

AUTHOR(S): Mayra Alejandra Vargas Cetina
Carlos Andrés Estupiñán Blanco

FACULTY: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR: Juan Carlos Mantilla Saavedra

ABSTRACT

This project presents the reorganization of the temperature module of the UPB Bucaramanga instrumentation laboratory, implementing the transmitter configuration process. Initially, the recognition and analysis of the current conditions of the temperature module are presented, as well as the operating conditions. This is carried out through an inventory of each of the instruments that make up the temperature module. Next, the design of the instrument panel structure and the distribution of the elements are carried out, taking into account the space available in the laboratory, the specifications of the instruments and the analysis previously carried out. Later, for the implementation of the temperature transmitters, initially the required configuration was made to put the transmitters into operation. The method used for implementation was a 4-20 mA current loop through a series circuit. To check the operation of the current loop, tests were carried out on the transmitters where the temperature values against resistance and current were recorded. Then, the results obtained from the operational tests were analyzed indicating that the relationship between temperature and current is a completely linear response once the temperature transmitter incorporates the RTD signal and converts it to the standard 4-20 mA. Finally, the update of the guide corresponding to the wet bath and the design of a new laboratory guide was carried out, which aims to develop the process of configuration of temperature transmitters for standardized control loop.

KEYWORDS:

RTD, Transmitter, Standardized control loop, linear response

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

La medición de temperatura es importante en la industria debido a que existen diversos procesos que requieren que ésta sea supervisada como parte del control. Hoy en día la búsqueda por mejorar la medición de las variables involucradas en dichos procesos es mayor, esto a su vez puede lograrse con el desarrollo e implementación de equipos y materiales que se ajusten a diferentes tipos de aplicaciones. No obstante, muchas instituciones educativas no cuentan con equipos organizados, suficiente espacio y personal capacitado para el manejo de estos.

Actualmente la **UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**, seccional Bucaramanga, cuenta con el laboratorio de instrumentación, allí se tiene un módulo de temperatura implementado en un tablero que no posee las condiciones adecuadas para optimizar la distribución del espacio y las conexiones de sus componentes, lo que conlleva a que las prácticas no se realicen de manera ordenada y eficiente.

Dentro de los componentes que hacen parte del módulo de temperatura, se tiene un transmisor de temperatura programable que actualmente no tiene una aplicación dentro del desarrollo de las prácticas de laboratorio, por tanto, es necesario que sea incluido para complementar los conocimientos del área de Instrumentación.

Para solucionar el problema se ha buscado una alternativa que permita mejorar las condiciones espaciales del módulo de temperatura y a su vez facilite el aprendizaje, la solución se basa en crear un diseño apropiado para la distribución del módulo mediante un software de modelado mecánico, conocido como SolidWorks, esta herramienta permite crear piezas y ensamblajes en diferentes dimensiones (2D, 3D), dando una apariencia real a los diferentes tipos de planos brindando la posibilidad de incorporar los transmisores y demás instrumentos disponibles en el laboratorio de instrumentación. Para desarrollar el diseño se tendrán en cuenta las guías de laboratorio disponibles actualmente y la configuración aplicada a cada transmisor.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Reorganizar el módulo de temperatura con la implementación del proceso de configuración de transmisores en el laboratorio de instrumentación de la UPB.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la distribución espacial de los procesos de calibración y verificación de los instrumentos de para mejorar sus condiciones de operación y aprovechamiento.
- Implementar el proceso de configuración de transmisores de temperatura para lazos de control estandarizados.
- Actualizar las guías del módulo de temperatura, incluyendo la configuración de transmisores para lazo de control estandarizado.
- Desarrollar el dossier del proyecto.

1 MARCO TEORICO

1.1 TEMPERATURA

La temperatura hace referencia a aquella magnitud física que mide la intensidad de energía que puede tener un cuerpo en su totalidad independientemente del tamaño de este, (Sarmiento, 2007) define la temperatura como: aquella medida de la energía cinética de las moléculas que forman un objeto. (Watethem & Sternheim, 1989) Añade que en cualquier proceso de tipo natural existen cambios de energía y es ahí en donde la temperatura juega un papel importante. Existe una captación de lo que se experimenta al tocar un objeto dando la posibilidad de catalogarlos como frío o caliente, lo anterior está ampliamente relacionado a la velocidad que tienen las partículas de un cuerpo para moverse, si la energía cinética aumenta, la temperatura de un sistema también lo hará. En otras palabras, la temperatura determina la cantidad de movimiento de moléculas que hacen parte de un cuerpo.

Existe un fenómeno que se produce cuando entran en contacto dos cuerpos conocido como intercambio de energía térmica manifestándose de la siguiente forma: la temperatura circula de más a menos, es decir al poner en contacto un elemento de mayor temperatura con otro de menor se establece una transferencia de energía siendo el de mayor temperatura quien cede energía al de menor haciendo que la temperatura de los dos cuerpos sean iguales y generando finalmente lo que se conoce como equilibrio térmico.

1.2 ESCALAS DE TEMPERATURA

A lo largo de los años se han planteado diferentes escalas para la medición de la temperatura estas se encuentran apoyadas en el punto de ebullición y fusión que presenta el agua. Técnicamente la palabra escala hace referencia a la identificación de un sistema de medición que a su vez tiene puntos estándares y definidos. Actualmente las escalas de temperatura se pueden clasificar en dos tipos, absolutas y relativas, el primero se fundamenta principalmente en que exista el 0 (cero) absoluto, por otra parte, las relativas son valores que la temperatura puede tomar en cualquier escala.

1.2.1 Escalas Relativas

1.2.1.1 Escala Celsius

Se le conoce con este nombre gracias al físico y astrónomo sueco Anders Celsius quien formulo la escala de temperatura Celsius, fundamentada principalmente en el punto de congelación y ebullición del agua, estableciendo valores de 100° y de 0° respectivamente, también identificada con el símbolo $^{\circ}\text{C}$ (grados Celsius) en el sistema internacional de unidades.

La escala Celsius se encuentra dividida en valores que van del 0 al 100, donde los valores por debajo del 0 (cero) hacen referencia a una temperatura negativa es decir a una temperatura menor. (Picado & Alvarez, 2008). La Figura 1 Indica que a temperaturas por debajo del cero el agua empezará a congelarse, de igual manera para temperaturas superiores a los 100° Celsius el agua empezará a hervir, la escala Celsius suele ser mayormente utilizada en el diario vivir, la industria, la ingeniería y a ciencia.

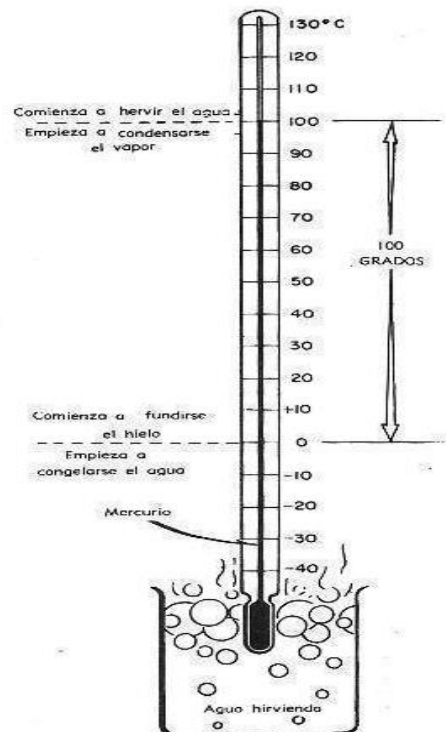


Figura 1. Escala Celsius representado en un termómetro de mercurio.¹

¹ Imagen tomada de: https://www.ecured.cu/Grado_Celsius el 27/02/2020

1.2.1.2 Escala Fahrenheit

Se le alude al físico polaco Gabriel Fahrenheit quien estableció tres puntos de referencia, el primero está definido por el punto cero, el segundo es a 32° F y el último se sitúa en 96°F. Fahrenheit clasifico la escala en 12 partes y cada una de estas las subdividió en 8 secciones, dando como resultado un total de 96 divisiones. Durante su estudio el físico elimino los valores negativos, determinando los puntos de ebullición y de congelación del agua en temperaturas de 32°F y 212°F respectivamente. La escala Fahrenheit a menudo es usada en países de habla inglesa (IGER, 2010).

1.2.2 Escalas absolutas

1.2.2.1 Escala kelvin

Fue establecida en 1848 por William Thomson, dicha escala se encuentra representada por la letra K (kelvin) es la escala de temperatura principal sustentándose en la escala Celsius. La escala Kelvin determina la temperatura de 0 K como cero absoluto lo que es igual a -273.15°C Siendo el cero absoluto el punto en donde las moléculas presentan menor movimiento, esto a su vez plantea que no existe una temperatura inferior a cero. Particularmente su uso se da en campos científicos (Smith, 1991). La Figura 2 compara la escala Celsius con la escala kelvin, cada una de estas muestra el punto de referencia para la medición de la temperatura.

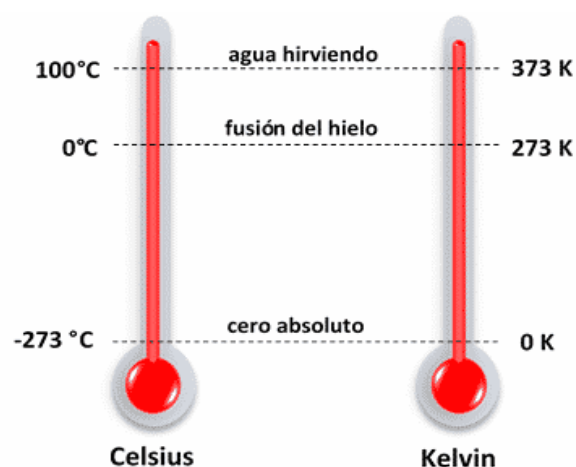


Figura 2. Escala de temperatura Celsius y Kelvin. ²

² Imagen tomada de: <https://learnchannel-tv.com/es/pneumatics/celcius-and-kelvin/> el 27/02/2020

1.3 UNIDADES DE CONVERSIÓN DE TEMPERATURA

Para pasar de una escala de temperatura a otra es necesario tener en cuenta que los puntos de ebullición del agua dependen de variables como la presión. En el sistema internacional de unidades es tolerada la escala Celsius como unidad de medida principal. La Figura 3 muestra la forma matemática para hacer la conversión de unidades en cada escala.

<p>De Kelvin a Celsius</p> $C = K - 273.15$	<p>De Kelvin a Fahrenheit</p> $F = \frac{9(K - 273.15)}{5} + 32$
<p>De Fahrenheit a Celsius</p> $C = \frac{5(F - 32)}{9}$	<p>De Fahrenheit a Kelvin</p> $K = \frac{5(F - 32)}{9} + 273.15$
<p>De Celsius a Kelvin</p> $K = C + 273.15$	<p>De Celsius a Fahrenheit</p> $F = \frac{9C}{5} + 32$

Figura 3. Conversión de unidades de temperatura. ³

1.4 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA.

Existen diversos métodos para la medición de la temperatura así mismo cada uno de estos utiliza instrumentos que se adaptan a las necesidades y condiciones del medio, el funcionamiento y la naturaleza en que se encuentre un cuerpo.

La naturaleza de un cuerpo es importante a la hora de medir la temperatura ya que el movimiento de las moléculas de un estado (sólido, líquido o gaseoso) a otro es diferente; así mismo el volumen puede hacer que esta aumente o disminuya. Los termómetros son los instrumentos utilizados para medir la temperatura en diferentes tipos de medios y con diferentes características. Los termómetros se pueden clasificar en dos tipos: por contacto y no contacto; los primeros miden la temperatura entrando en contacto

³ Imagen tomada de: <https://www.aulafacil.com/cursos/quimica/problemas-de-quimica-general-para-universitarios/escalas-de-temperatura-l40212> el 27/02/2020

directamente con el cuerpo, por el contrario, los termómetros de no contacto se caracterizan por medir la temperatura desde cierta distancia. (MIRONOV, 1977).

1.4.1 Termómetros por contacto

1.4.1.1 Termómetro de vidrio

Consiste en un tubo de vidrio donde es depositado un líquido (mercurio, pentano, alcohol) el cual al calentarse se expande y aumenta en el tubo indicando así la temperatura, el tubo cuenta con un bulbo donde almacena la mayor parte de líquido. Los diferentes elementos químicos empleados en el termómetro de vidrio dependen de los intervalos que se deseen medir, por ejemplo, para rangos comprendidos entre -35°C a 280°C se utiliza el mercurio o el pentano si el intervalo se encuentra entre -200°C a 20°C . (Solè, 2010). En la Figura 4 se observan los componentes que integran el termómetro de vidrio.

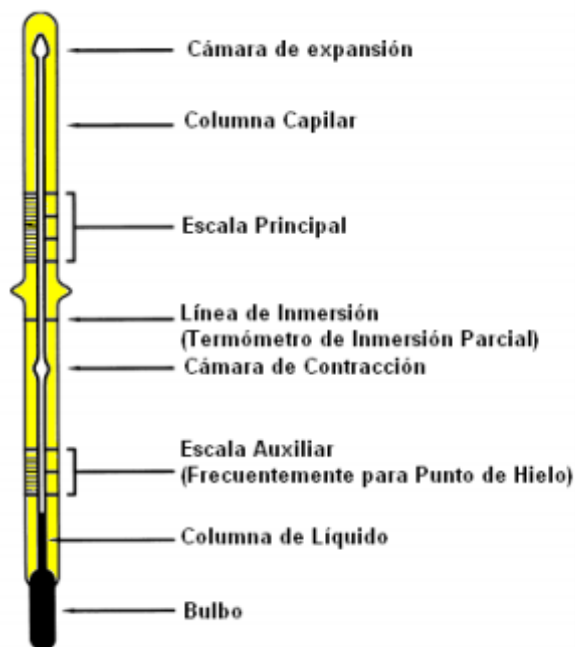


Figura 4. Componentes del Termómetro líquido de vidrio. ⁴

⁴ Imagen tomada de:
<http://www.adatec.co.cr/route.php?url=termometrosdevidriodeusogeneralenlaboratorio> el 27/02/2020

1.4.1.2 Termómetro bimetalico

Su funcionamiento radica en el coeficiente de dilatación que puedan tener dos materiales distintos como por ejemplo el latón y el acero que al variar la temperatura va a hacer que el termómetro bimetalico cambie su curvatura, es decir si un extremo del termómetro se encuentra fijo el otro extremo se verá forzado a sufrir una deflexión como se muestra en la Figura 5 siendo proporcional a la variación de temperatura, algunos de estos termómetros vienen dados por franjas o por hélices. Los intervalos de temperatura se encuentran en -40°C y 800°C , la exactitud de estos es de $\pm 1\%$. (CREUS, 2010).

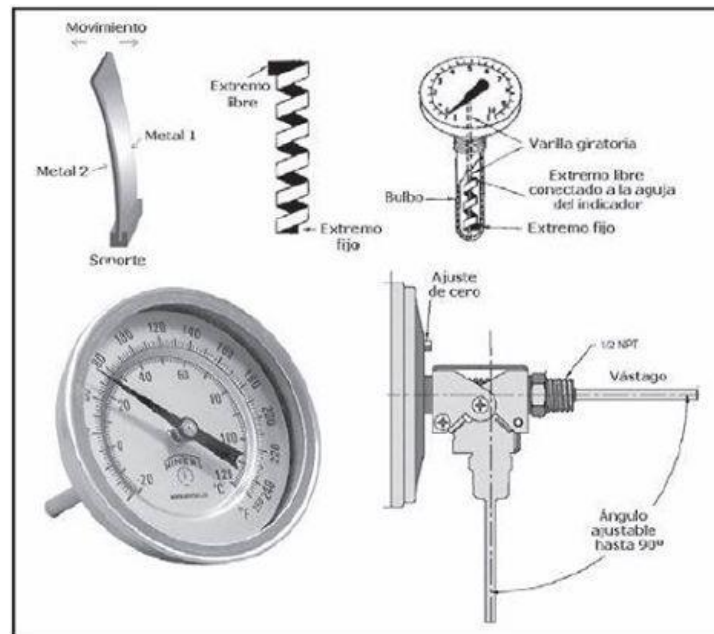


Figura 5. Funcionamiento del termómetro bimetalico. ⁵

1.4.1.3 Termómetro de bulbo

Se basa en un bulbo compuesto por un líquido o un gas que se encuentra conectado a una espiral por medio de un capilar, una vez cambia la temperatura el bulbo se modifica expandiéndose, haciendo que la espiral se desenrolle y la aguja se mueva indicando el

⁵ Imagen tomada de: <https://procesoseinstrumentacionfcquach.blogspot.com/2016/03/> el 27/02/2020

incremento o disminución de temperatura. Existen cuatro clases de termómetros de bulbo:

a) Clase I

A esta clase pertenecen aquellos termómetros que son actuados por líquido, el volumen que pueda tener el bulbo va a depender de 3 factores: temperatura que tenga el bulbo, la temperatura ambiente y la temperatura del capilar. Su escala de medición es uniforme.

b) Clase II

Es aquel sistema que tiene en cuenta los cambios de presión, al incrementar la temperatura la presión de vapor también lo hará. La escala de medición de este tipo de termómetro no es uniforme.

c) Clase III

Son termómetros que contienen gas una vez se aumenta la temperatura la presión del gas aumentara de la misma manera. Presenta una escala lineal.

d) Clase IV

Su funcionamiento se basa en el mercurio este tipo de termómetro presenta una alta exactitud y precisión. (CREUS, 2010).

1.4.1.4 Termómetros resistivos

En diferentes tipos de materiales solidos las moléculas se atraen de manera fuerte permaneciendo unidas de tal manera que todos los átomos se encuentran en una posición total de equilibrio, no obstante, el permanecer en esa posición no es un obstáculo para que no puedan vibrar lo anterior se da al agregar energía (aumentar la temperatura), de esta manera la resistencia se interpreta como una vibración, es así como se introduce la idea de energía térmica. (Sanchez J. A., 2006).

Normalmente la resistencia de un metal a una temperatura que pueda ser constante está dada mediante en la Ecuación 1.

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Ecuación 1. Resistencia de un metal conductor.

Donde

R = Resistencia

ρ = resistividad (ohmios * metro)

L =longitud (metros)

S= sección (metros ²)

Por consiguiente, al hacer L y S=1 la resistencia será equivalente a la resistividad del material conductor.

Es así como el funcionamiento de este tipo de termómetro radica en la variación de la resistencia que depende de la disminución o aumento de la temperatura, estos termómetros a su vez pueden ser utilizados como sensores indicadores de temperatura. Existe un coeficiente que está ligado al material del que está compuesta la resistencia, usualmente el coeficiente tiene un valor positivo. Este coeficiente representa la variación de la resistencia eléctrica con respecto al cambio de la temperatura (COPETE, 1992).

1.4.1.5 RTD

Sus siglas hacen referencia a un detector o sensor resistivo de temperatura que está diseñado de materiales que facilitan el flujo de corriente, el valor de la resistencia depende de la temperatura, es decir, al calentar un material la dispersión de los electrones aumentará, dicho cambio se ve reflejado en el valor que tomará la resistencia. A mayor dispersión mayor resistencia y a menor dispersión menor resistencia, los valores positivos indican el incremento de la temperatura y al mismo tiempo el aumento de la resistencia. Las resistencias suelen estar hechas de platino, cobre o níquel, en donde se destaca el platino por tener una relación aproximadamente lineal.

1.4.1.5.1 Sensores Pt100 y Pt1000

Este tipo de RTD como su nombre lo indica están fabricados de platino el número que acompaña al símbolo químico (Pt) indica la resistencia del material; de esta manera se lee que a 0° presenta una resistencia de 100 y 1000 (ohmios) respectivamente, el rango de medida de este tipo de sensores es alto (Aranda, 2014). Los sensores Pt100 y Pt1000 tienen diferentes configuraciones a la hora de ser conectados y su precisión se encuentra estrechamente relacionada con la cantidad de hilos que pueda tener, algunas de las configuraciones más usadas son de 2 hilos,3 hilos o 4 hilos.

1.4.1.5.2 Tipos de construcción de RTD

a) Bobinado

En la Figura 6. Se muestra que la construcción está compuesta por un bobinado que puede encontrarse enrollado de manera plana o circular en el núcleo y que a su vez está unida con un aislante eléctrico, el material más utilizado para el diseño de la RTD suele ser cerámica.

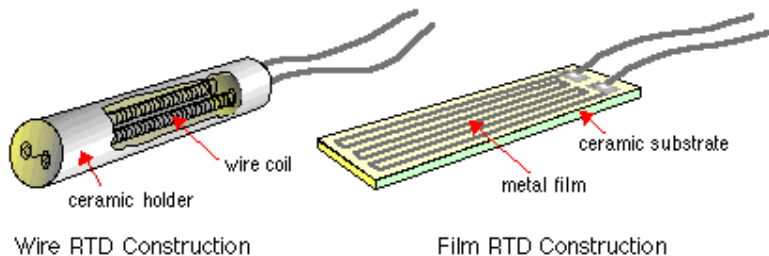


Figura 6. Construcción RTD tipo bobinado. ⁶

b) Enroscado

Están diseñados de un alambre de platino que posee una bobina en forma de espiral en su interior distribuida a lo largo de un tubo de aluminio que cuenta con cuatro agujeros separados en distancias iguales. Para evitar inconvenientes que comprometan el funcionamiento como cortocircuitos y vibraciones, los cuatro orificios son rellenados con polvo cerámico.

c) Laminado

Están diseñados con una placa de platino que es sellada con vidrio o resina esto con el fin de proteger la placa y prevenir la deformación del cable.

d) Anillo hueco

Como su nombre lo indica, este tipo de sensor tiene una estructura de forma abierta, lo cual favorece el flujo eléctrico al hacer un contacto más eficiente con la masa térmica, lo

⁶ Imagen tomada de: http://www.thermocouplertd.com/introduction_rtds.html el 27/02/2020

que se refleja en un menor tiempo de respuesta. Cabe destacar que su área externa se encuentra con un material aislante.

1.4.1.6 Termopar

Es quizá el instrumento más utilizado en el campo industrial, este tipo de sensor de temperatura se encuentra hecho con dos metales de origen diferente que son soldados y luego unidos. Una vez están unidos se crea un efecto llamado “efecto Seebeck”, siendo este el resultado de la aplicación de temperatura entre dicha unión como se puede observar en la Figura 7. Es decir, el voltaje ocasionado del incremento de la temperatura.



Figura 7. Funcionamiento de un termopar ⁷

Para explicar mejor este fenómeno en el año de 1821 el físico Thomas Johann Seebeck de origen alemán encontró que la unión o conjunto de dos metales representa un par termoeléctrico que produce una fem (fuerza electromotriz) capaz de mantener la diferencia de potencial en los extremos de los alambres creando una corriente eléctrica que fluye de un material al otro. Los termopares están compuestos por acero inoxidable, una de sus grandes ventajas es el bajo costo y el rango de escala que llegan a tener (Weston & Higuera, 2011). La desventaja de estos sensores es la exactitud que presentan al operar en rangos inferiores a 1 °C (un grado Celsius).

1.4.1.7 Tipos de Termopares

- **Tipo K**

Son una buena opción principalmente por su costo y la variedad de formatos que tiene disponible, el material del que están hechos son el cromo y el alumel. Las Termocuplas

⁷ Imagen tomada de: <http://laboratorios.fi.uba.ar/lscm/termocuplas01.pdf> el 02/03/2020

tipo K presentan un rango grande de temperatura llegando desde los $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+1372\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- **Tipo J**

Por lo general sus alambres están compuestos de hierro y constantan. Los Termopares tipo J no suelen presentar inconvenientes a la hora de realizar la medición pues abarcan un rango desde los $-270/+1200^{\circ}\text{C}$, al estar diseñadas por hierro la oxidación es mucho más rápida siendo esta una gran desventaja.

- **Tipo E**

Hechas por hierro y crome, presentan un alto rango de medida a las bajas temperaturas teniendo un rango de -200° a 900°C .

- **Tipo T**

Su utilidad está enfocada principalmente el campo de la industria de alimentos presentando un rango de medida comprendida entre los -200°C y los 260°C .

- **Tipo S**

Son empleadas para la medición de altas temperaturas presentando un rango de 0°C a 1.480°C .

En la Figura 8 se muestran cuatro tipos de termopares distintos, cada uno con una relación diferente de milivoltios sobre grados Celsius, se puede observar que la gráfica ilustra el comportamiento de cada uno de los termopares con sus respectivas curvas de temperatura con respecto a una referencia de 0 grados, cabe destacar que para propósitos de simplificar y entender la información las curvas se ilustran como líneas rectas.

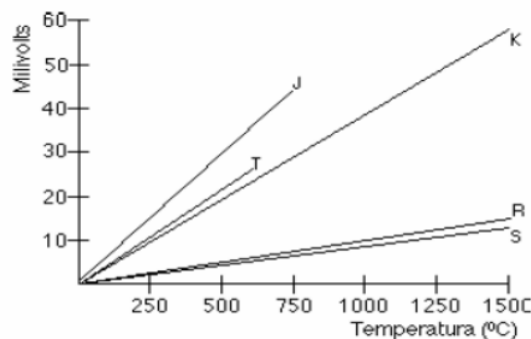


Figura 8. Comportamiento de los termopares.⁸

⁸ Imagen tomada de: http://ander.zonalibre.org/UNIDAD_3%20TEMPERATURA.pdf el 02/03/2020

Según lo observado en la figura anterior, se puede decir que los termopares tipo T y K presentan una pendiente grande eso quiere decir que su sensibilidad también lo es, siendo una ventaja al momento de variar la temperatura, evidentemente el termopar tipo S presenta una pendiente más pequeña por tanto su sensibilidad será baja.

1.4.1.8 Termistor

Un termistor es un semiconductor que funciona gracias a la variación de la resistividad también trabaja como un sensor de temperatura, este instrumento es utilizado para medir temperatura por tanto es considerado como un termómetro, su uso se da normalmente más en el campo industrial. Usualmente los termistores son de tamaño pequeño, pero hay de diferentes formas, tamaños y proporciones dependiendo de la aplicación que se le desee dar. La resistencia de un termistor se puede variar desde la escala de ohms (ohmios) hasta megaohms ($m\Omega$), a su vez esta escala puede ser lineal o no lineal es decir al presentar una escala lineal la resistencia varia en la misma porción por cada grado de temperatura que este cambie, por otro lado, la escala no lineal la temperatura varia mostrando estos cambios en diferentes rangos. (Harper, 2003) . Los termistores al ser sensores resistivos pueden trabajar tanto en corriente alterna como en corriente directa.

1.4.1.8.1 Tipos de termistores

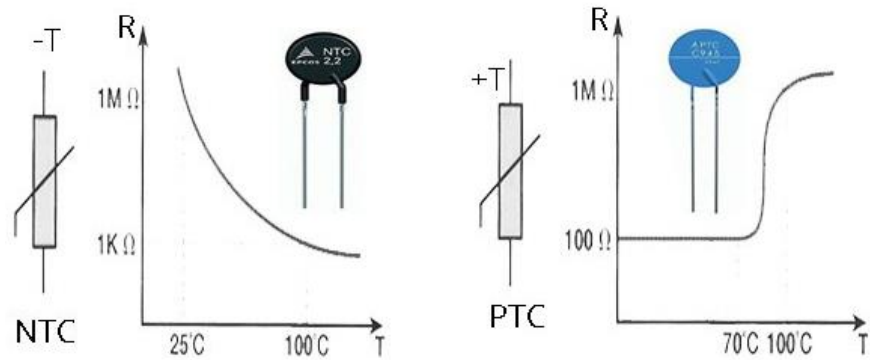
a) Tipo PTC

Son termistores que presentan un coeficiente positivo de temperatura, su funcionamiento se basa en el incremento de la temperatura que hace que la resistencia del elemento también aumente.

b) Tipo NTC

Su coeficiente de temperatura es de un valor negativo, la resistencia en este tipo de termistores disminuye cuando la temperatura aumenta. La mayoría de los termistores son de este tipo.

En la Figura 9 se muestran las curvas de funcionamiento de los dos tipos de termistores, los materiales con los que están diseñados suelen ser bastantes sensibles a la temperatura.



Curva termistor NTC

Curva termistor PTC

Figura 9. Curvas características de los termistores.⁹

1.4.1.9 Sensor de temperatura Lm35

El integrado LM35 funciona como sensor de temperatura y trabaja directamente con la escala de grados Celsius convirtiendo dicha magnitud en su salida a una escala de voltaje de 0 mV a 10mV, su rango de medición se encuentra comprendido entre -55 °C hasta +150 °C, no obstante, los valores pueden variar dependiendo de su encapsulamiento.

El LM35 presenta una apariencia similar a la de un transistor de baja potencia, su principal ventaja con respecto a otro tipo de sensores es la capacidad que tiene de ser calibrado pues no necesita un sistema adicional o externo para desarrollar esta función, suele ser utilizado comúnmente en circuitos de control por la facilidad que presenta al momento de ser instalado, su precisión y el bajo costo que tiene en el mercado. (INSTRUMENTS, 1999).

En la Ecuación 2 se expresa el voltaje de salida del integrado LM35 en función de la temperatura el cual tiene una relación directamente proporcional, en donde cada grado Celsius equivale a 10mV, dicho de otra manera, el voltaje salida tiene un comportamiento lineal.

$$V_{salida} = T_C(10mV)$$

Ecuación 2. Voltaje de salida del circuito Integrado LM35.

⁹ Imagen tomada de: <https://www.ingmecafenix.com/wp-content/uploads/2018/04/Termistores.jpg> el 02/03/2020

Dentro de las principales características del sensor LM35 cabe resaltar las siguientes:

- Presenta una tensión de salida directamente proporcional a la temperatura en grados Celsius
- Presenta una baja impedancia
- Posee un alto grado de precisión
- La corriente de alimentación es de $60\mu\text{A}$

En la Figura 10 se muestra el esquema de conexiones del circuito integrado LM35, en este diagrama se observan en particular dos conexiones diferentes que cambian dependiendo de la presentación que sea adquirido y la aplicación que se le dé. Entre las principales aplicaciones se encuentran los diseños de sensores básicos para medir temperatura con rangos completos, convertidores digitales de temperatura entre otros.

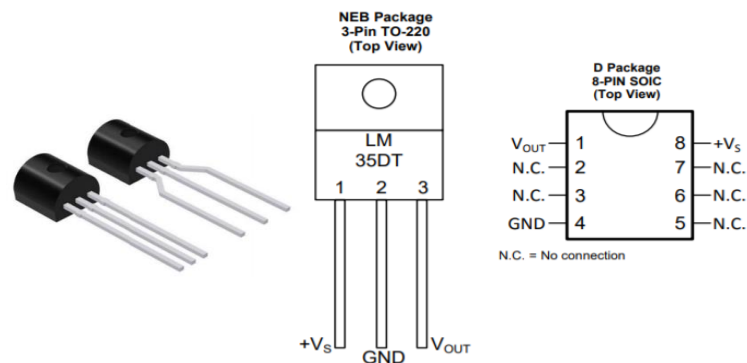


Figura 10. Esquema de conexiones del circuito integrado LM35. ¹⁰

1.4.2 Termómetros por no contacto

1.4.2.1 Pirómetros

Es un instrumento que mide la temperatura de un cuerpo, sustancia u objeto a distancia y donde no es necesario que el cuerpo y el pirómetro entren en contacto. Los pirómetros suelen hacer uso de la radiación térmica para medir la temperatura, el rango de temperatura de esta clase de instrumentos es bastante amplio pues tienen la capacidad de medir temperaturas de hasta 600°C o más. (Rolle, 2006). Los pirómetros están conformados por cuatro elementos importantes; el primero es el sistema óptico que presentan, gracias a este sistema se puede acumular la energía que un cuerpo emita, el

¹⁰ Imagen tomada de: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/517588/T11/LM35.html> el 02/03/2020

segundo elemento es un detector, este transforma la energía en una señal eléctrica; el tercer elemento es un sistema que se adapta al ajuste de la emisibilidad.

1.4.2.2 Pirómetros de radiación

Los pirómetros de radiación basan su funcionamiento en la ley de Stefan-Boltzmann quien sostuvo que la materia que no presente una temperatura infinita podrá emitir radiaciones térmicas que surgen de la energía de un cuerpo, es decir este tipo de termómetros pueden medir la temperatura de un cuerpo a determinada distancia y en función de la radiación que emita el cuerpo, la intensidad de dicha radiación es directamente proporcional a cuarta potencia de la temperatura (Kelvin) (Creus, 2009), lo anterior está dado por la Ecuación 3:

$$W = K \times T^4$$

Ecuación 3. Intensidad de radiación.

Donde

W= Intensidad de la radiación

K= constante de emisión

T= temperatura a la que se encuentre el cuerpo (kelvin)

La constante de emisión de un cuerpo hace referencia al vínculo que existe entre la energía que es emitida por cualquier cuerpo y la energía emitida por un cuerpo negro que es aquella radiación electromagnética que va variando, dependiendo de la longitud de onda, al hablar de un cuerpo negro cabe señalar que es un objeto capaz de absorber toda luz que pueda caer sobre él.

El estado en que se pueda encontrar la superficie de un cuerpo a la hora de emitir su radiación juega un papel importante en la emisividad, por ejemplo, si la superficie es incandescente el pirómetro no mostrara la temperatura real del cuerpo dando así errores esto debido a que la superficie no es negra. Por otra parte, los cuerpos que son de procedencia opaca a determinada temperatura emitirán cierta radiación que va a depender de la naturaleza del cuerpo, así como de la superficie de este.

1.4.2.3 Pirómetros de infrarrojo.

Este tipo de instrumento tiene la capacidad de percibir la radiación infrarroja, es decir la radiación electromagnética que presenta una longitud de onda superior a la luz captada por el ojo humano; para entender el concepto es necesario aclarar que la luz visible en el espectro electromagnético se encuentra comprendida entre los 400 nm y los 700 nm como se observa en la Figura 11 Pero a diferencia de estas, la luz infrarroja comprende los 0.7 μm y los 1000 μm . todo cuerpo que presente una temperatura diferente al cero absoluto 0 K (kelvin) o -273°C tendrá la capacidad para emitir radiación infrarroja. (Feinstein & Tignanelli, 2005).

El pirómetro de infrarrojo puede medir temperaturas menores a los 0°C y superiores a los 3.000°C . En la Figura 12 Se puede ver que su funcionamiento radica en un lente que tiene la capacidad de atravesar la radiación de luz infrarroja que es emitida por un cuerpo, enfocándola en un sensor de temperatura que se encuentra incorporado haciendo que una vez se capte la señal por medio de un algoritmo esta se convierta de una señal de corriente a un valor de temperatura.

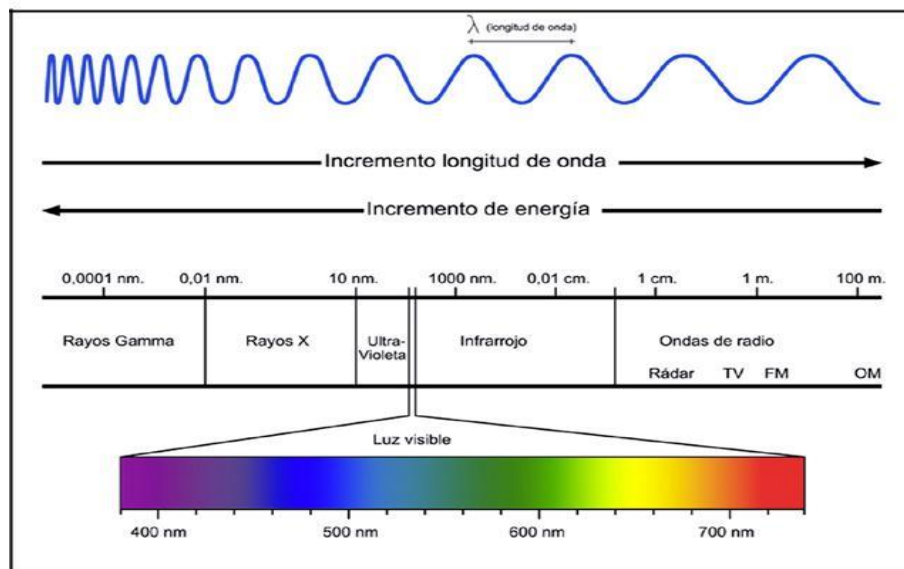


Figura 11. Espectro electromagnético. ¹¹

Algunos aspectos que se deben tener en cuenta al momento de medir la temperatura con este tipo de termómetros es el campo de visión esto se refiere a que tan grande o

¹¹ Imagen tomada de: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/674/67455945010/movil/index.html> el 02/03/2020

pequeño sea el objeto, así como la distancia a la que se encuentre, la superficie (emisividad) y el rango de temperatura que se desee.

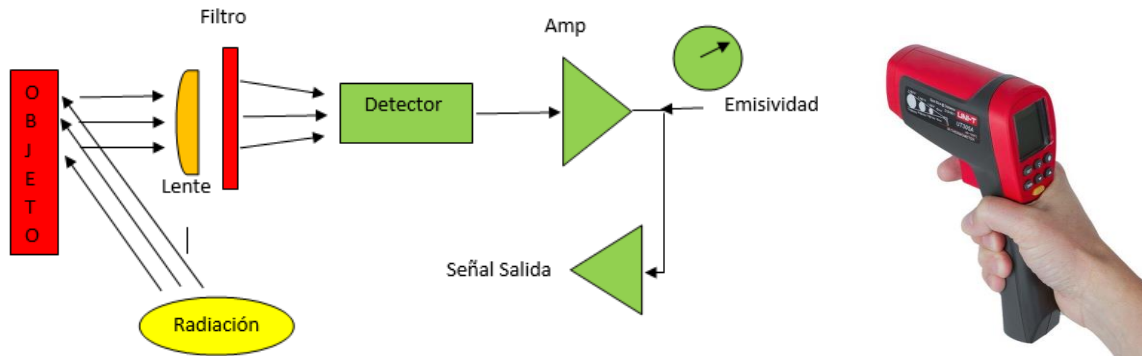


Figura 12. Diagrama de funcionamiento del Pirómetro de infrarrojo. ¹²

1.4.2.4 Pirómetros ópticos

Este tipo de instrumento mide la temperatura en base al color de la radiación emitida por cualquier cuerpo, el color de este es comparado con el que se genera de un filamento. El funcionamiento está sujeto a la observación y comparación manual con un punto de referencia. Los cambios en la temperatura se ven reflejados en la intensidad en que se irradia la energía, lo que conlleva a una variación en el brillo del objeto que se está analizando.

El pirómetro óptico ofrece ventajas debido a su facilidad de uso y su versatilidad ya que suele ser ligero y de un tamaño que permite que sea portátil. Es comúnmente utilizado para obtener la medición de la temperatura promedio en escenarios donde ésta varíe de manera uniforme, por ejemplo, el caso de un horno en donde la temperatura aumenta de manera homogénea. Las temperaturas de medición en este tipo de pirómetros son altas teniendo la capacidad de medir rangos comprendidos entre 700° C y 3.200° C. (Ramos, 2012).

1.4.2.5 Termografía

Se le conoce como termografía al método utilizado para medir la temperatura de un cuerpo a distancia. Por medio de esta técnica no es necesario que el objeto entre en

¹² Imagen tomada de: <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-pirometros> el 02/03/2020

contacto con el instrumento o dispositivo a utilizar. Su funcionamiento se basa en la captación de la radiación infrarroja y es considerado un método no invasivo que no genera daño alguno al cuerpo u objeto medido.

1.4.2.5.1 Cámara termográfica

La cámara termográfica es un instrumento que se usa para la medición de la temperatura por no contacto. Su principio de funcionamiento se basa en la detección de cualquier tipo de actividad que emita radiación infrarroja por medio de un sensor térmico, posteriormente es convertida a un tipo de señal eléctrica y finalmente se amplifica para ser visible por el ojo humano. (Delgado Bueno & Tejerina, 2002)

El rango de detección de temperatura de las cámaras infrarrojas o termográficas depende de factores como por ejemplo el modelo y la marca. Normalmente este rango suele estar entre -20°C y 350°C . Para que un cuerpo sea detectado por la cámara, la temperatura emitida debe ser superior al cero absoluto, es decir; mayor a -273°C . Entre más alta sea la radiación emitida por el cuerpo mayor será la temperatura de éste.

En la Figura 13 se observa la cámara termográfica de marca FLUKE, la cual se utiliza a menudo en el campo industrial en la solución de problemas relacionados con instalaciones eléctricas, sistemas térmicos, sistemas de ventilación entre otros.



Figura 13. Cámara termográfica FLUKE TI10.¹³

Cuenta con una tecnología avanzada conocida con el nombre de tecnología IR-Fusion que brinda la posibilidad al usuario de ver los objetos o cuerpos por medio de imágenes infrarrojas y de imágenes digitales. La FLUKE Ti10 se caracteriza por presentar alta resistencia a golpes, agua y polvo, puede mostrar imágenes muy nítidas y con una

¹³ Imagen tomada de: <http://www.macrobaleros.com/camara-termografica-fluke-ti10> el 02/03/2020

resolución superior que ayuda a detectar con facilidad cualquier tipo de problema. El rango de medición se encuentra determinado entre los -20°C y $+250^{\circ}\text{C}$.

1.5 TERMOPOZOS

Los termopozos, son tubos conductores que están fabricados con la finalidad de proteger los instrumentos del ambiente, evitando así que los diferentes tipos de termómetros se vean afectados por la corrosión. Los termopozos suelen estar diseñados de materiales muy resistentes a cambios de temperatura y presión entre otros; comúnmente se utiliza acero y cerámica como se puede observar en la Figura 14. Su diámetro depende principalmente de las necesidades del entorno y el instrumento o termómetro que será insertado. (Gonzales, 2017)

Una de las principales ventajas del uso de los termopozos es la disminución del error en la medición lo cual es muy aprovechado en el campo industrial.

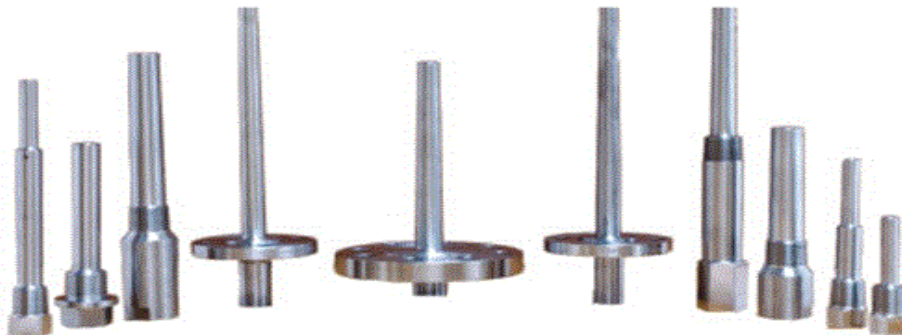


Figura 14. Termopozos o Termovainas ¹⁴

1.6 INDICADORES DE TEMPERATURA

Un indicador de temperatura es un dispositivo de instalación que tiene la capacidad de adquirir señales provenientes de sensores, realizar una interpretación y mostrarlas en una pantalla.

¹⁴ Imagen tomada de: <https://instrumentacionhoy.blogspot.com/2015/01/termovainas-o-termopozos.html> el 02/03/2020

1.7 TRANSMISORES DE TEMPERATURA

Un transmisor de temperatura se define como un instrumento de tipo eléctrico que establece conexiones de sensores tales como (termopares, RTD's) a un sistema de control, es decir convierten las señales de diferentes tipos de sensores a una señal estandarizada de salida (0 a 10V, 4 a 20mA). Su tecnología radica en el uso de microprocesadores, existen diferentes tipos de transmisores gran parte de estos son configurables y tienen en cuenta el protocolo HART. Suelen ser utilizados para enviar señales en lazos de control, crear alertas de emergencia al realizarse un aumento o disminución de temperatura. Generalmente los transmisores se relacionan con las señales de termopares y termorresistencias, a continuación, se detallan algunos de los transmisores comúnmente utilizados en laboratorios e industrias. (Sanchez M. B., 2018).

1.7.1 Transmisor SITRANS TH300 SIEMENS

El transmisor de temperatura SITRANS de SIEMENS es uno de los transmisores más utilizados hoy en día en la industria y en otros campos, basa su operación en el protocolo HART, es decir, brinda la posibilidad de transmitir información sobre un lazo de control estandarizado (4-20 mA) o en un rango deseado, fabricado para soportar resistencias, termopares, entre otros. Tiene la capacidad de realizar lecturas de corriente de salida directas utilizando un multímetro sin que sea necesario manipular el bucle del lazo estandarizado. Cuenta con una alimentación especialmente a dos hilos como se observa en la Figura 15, su apariencia lo hace sencillo de trasladar e instalar pues tiene un tamaño bastante compacto y sólido, su configuración se realiza por un comunicador de mano.



Figura 15. Transmisor SITRANS TH300 SIEMENS. ¹⁵

¹⁵ Imagen tomada de: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/temperature-measurement/sitrans-th300.html> el 02/03/2020

En la Figura 16 se evidencia su funcionamiento, donde inicialmente el sensor utilizado (ya sea resistencias, termopares) entrega una señal eléctrica que posteriormente es convertida a una señal digital haciendo uso de un convertidor A/D; una vez se obtiene la señal digital se determina la curva característica del sensor mediante un microcontrolador secundario, el transmisor SITRANS TH300 SIEMENS cuenta con un aislamiento galvánico, donde gracias a este la señal digital es transmitida al microcontrolador primario. Finalmente se hace uso de un convertidor D/A para convertir la señal digital a un valor de corriente estándar. (Serrano, 2020).

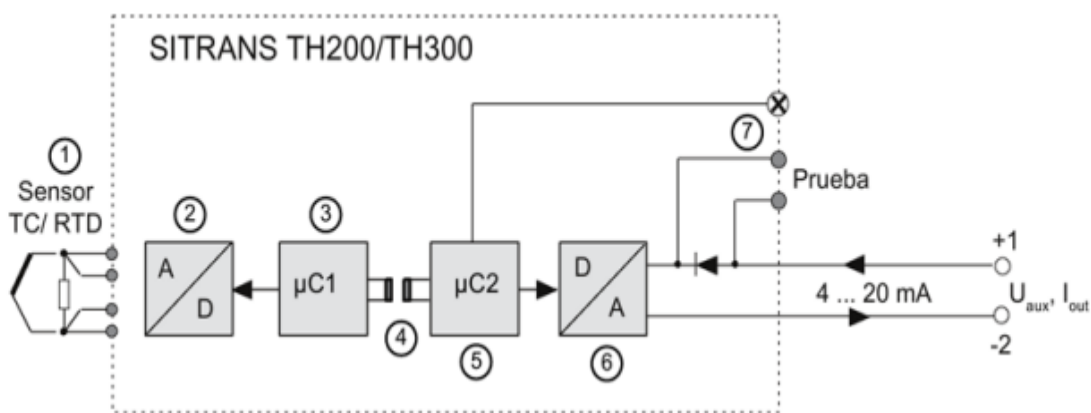


Figura 16. Funcionamiento del transmisor SITRANS TH300. ¹⁶

1.7.2 Transmisor XU2HN Y XU2

Son transmisores de tipo programables que cuentan con una entrada universal de USB, su entrada de temperatura es de 2 hilos capaz de soportar diferentes tipos de entradas (RTD, termopares tipo B) y manejando salidas estandarizadas. Los transmisores programables ayudan a mejorar la calidad de las mediciones, brindando amplia exactitud, precisión (0.1%) e información sobre posibles fallas del sistema, ayudando a diagnosticar, corregir y crear alertas. Entre sus principales ventajas se destaca que no requieren ser calibrados en el proceso de programación ni es necesario hacer uso de una fuente de alimentación externa, además de contar con un protector contra polaridad inversa. El diseño de los transmisores XU2HN es compacto como se observa en la figura Figura 17 (Instrumatic, 2020), por otra parte, los XU2 cuentan con un diseño más grande.

¹⁶ Imagen tomada de:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/744/109480744/att_859831/v1/A5E00393071-02es_TH200TH300_OI_es-ES.pdf el 07/03/2020

La diferencia entre estos dos radica en la configuración del montaje pues los XU2HN utilizan un montaje de cabeza y los XU2 un montaje por riel din.



Figura 17. Transmisores Programable XU2HN y XU1 ¹⁷

1.7.3 Tipos de transmisores de temperatura

a) Transmisor de temperatura analógico

Un transmisor de tipo análogo transforma las alteraciones de las resistencias en termorresistencias o termopares si se habla de un cambio de tensión, entregando así una señal de salida analógica. Entre sus principales características se puede destacar la facilidad de interpretación en las señales de salida (4 a 20mA), los protocolos utilizados para la comunicación (protocolo HART), el bajo costo del equipo, el rango de temperatura empleado por el sensor (-40°C a 120°C) y el voltaje suministrado comprendido entre 11 a 45 VDC. Su utilidad se centra en los campos de industrias químicas, residuales, alimenticias, etc. (Golcanvez, 2014).

b) Transmisor de temperatura digital para sensores de resistencia

Los transmisores de temperatura digital son indispensables si lo que se busca es diseñar instalaciones industriales y maquinaria. Todo esto gracias a su exactitud y extrema resistencia a los rayos electromagnéticos, como dato técnico se puede decir que su fuente de alimentación eléctrica está entre 8 a 35V. (S.A.U, WIKA, 2018).

¹⁷ Imagen tomada de: <https://instrumatic.com.co/producto/serie-xu/> el 07/03/2020

1.8 CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

En las industrias como la del petróleo, productos alimenticios, productos químicos, entre otros, es indispensable tener en cuenta la medición. Factores como el rango, el error, la exactitud, la precisión y la incertidumbre son fundamentales para que una empresa sea competente en el mercado.

1.8.1 Rango

Hace referencia al intervalo comprendido entre un valor mayor y uno menor, capaz de medir un instrumento, para algunos casos los instrumentos pueden tener un mejor desempeño y funcionamiento si el rango es más amplio, pero eso también lleva a tener una menor resolución. (Bollain, 2018) Un termómetro en el que su rango se encuentra ubicado entre -30°C y 50°C su resolución puede estar entre 1°C o 0.5°C dependiendo de las características dadas por el proveedor, en la Figura 18 se muestra el rango de temperatura de un termómetro en las escalas Celsius y Fahrenheit. Dicho de otra manera, el rango representa el intervalo en el cual los valores medidos presentaran una exactitud confiable.

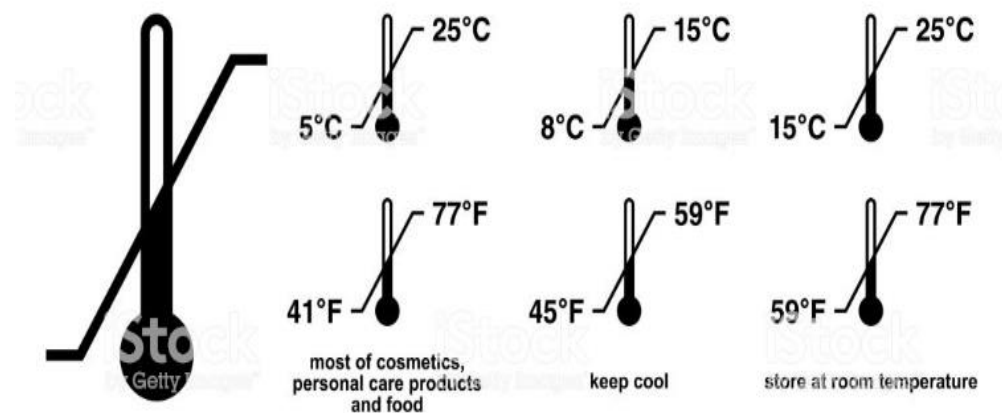


Figura 18. Rango de temperatura en un termómetro. ¹⁸

¹⁸ Imagen tomada de: https://www.123rf.com/photo_111652253_stock-vector-storage-temperature-range-symbol-black-thermometer-icon-with-diagonal-line-and-degrees-sign-value-so.html el 02/03/2020

1.8.2 Error

El error se define como la cantidad de perturbaciones o saturaciones exteriores que afectan un instrumento creando así una diferencia entre un valor real y un valor experimental (Pena & Londoño, 2007), los tipos de errores se clasifican en estáticos y dinámicos. El error estático se lleva a cabo cuando se está en condiciones de régimen permanente donde mayormente actúan las leyes físicas. El error dinámico es variable debido a que los instrumentos poseen afinidad con los sistemas físicos.

1.8.3 Exactitud

La exactitud es la aproximación o que tanto se puede acercar la medición de un instrumento al valor real (sokal, 2002). La exactitud suele ser especificada por el proveedor de cada instrumento, todas las afectaciones en la exactitud de los instrumentos son a causa de manipulaciones inapropiadas, efectos del ambiente, desplazamientos o también por el tiempo de vida útil del instrumento. La exactitud se puede expresar de la siguiente manera.

$$Exactitud = \pm 100 \times \left(\frac{\text{Resultado verdadero} - \text{Media experimental}}{\text{Resultado verdadero}} \right)$$

Ecuación 4. Exactitud de medición.

1.8.4 Precisión

La precisión se conoce como la capacidad que tiene cualquier instrumento de arrojar los mismos valores en diferentes mediciones, puede darse el caso de tener un instrumento brinde una exactitud no tan optima, pero con una gran precisión.

En la Figura 19 se muestra gráficamente los conceptos de exactitud y precisión allí se observa la diferencia entre los dos conceptos y a su vez se puede comprobar que son independientes uno del otro

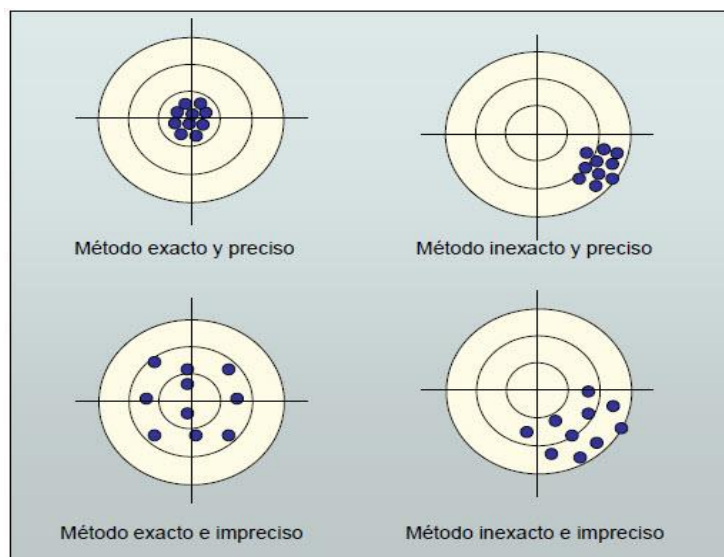


Figura 19. Representación del concepto de exactitud y precisión. ¹⁹

1.9 METROLOGÍA Y ESTÁNDARES DE MEDICIÓN

Tener en cuenta la metrología y los estándares de medición hoy en día es de suma importancia para las diferentes empresas e industrias en el mundo. El resultado final de un buen producto en muchas ocasiones es gracias a la calidad de medición y calibración de los equipos utilizados para su proceso de diseño. Las buenas mediciones benefician el cuidado del medio ambiente y al mismo tiempo a los consumidores al ya que logra aumentar la productividad de los equipos y reducir los costos de operación de estos.

A continuación, se definen los términos que intervienen en los estándares de medición y el papel que juega con los diferentes instrumentos de temperatura.

1.9.1 Metrología

Es considerada como la ciencia encargada de la medición, que incluye diferentes especificaciones ya sean experimentales o teóricas teniendo en cuenta todos los niveles de incertidumbre en campos de ciencia y tecnología. Su función principal es obtener y expresar el valor de las cantidades, garantizando la trazabilidad de los procesos y el logro de la precisión requerida en cada caso; utilizando instrumentos, métodos y medios adecuados. (Esquivel, 2014)

¹⁹ Imagen tomada de: <http://www.quimicafisica.com/exactitud-y-precision.html> el 07/03/2020

En la metrología existen tres ramas importantes que se deben tener en cuenta:

1.9.1.1 Metrología legal

Es la rama encargada de verificar el cumplimiento de los protocolos legales administrativos y técnicos referente a las unidades de medida, los métodos y procedimientos utilizados con la finalidad de mediar las relaciones comerciales con igualdad brindando seguridad a cada miembro que la compone.

La O.I.M.L (Organización internacional de metrología legal) determina los requisitos reglamentarios y principios que se debe aplicar para realizar los diferentes controles metrológicos en cada país. Gracias a estos controles se puede proteger la salud, los intereses económicos entre otros aspectos que afectan a los consumidores, además de fortalecer que cada instrumento de medición cumpla con los requisitos propuestos en los reglamentos técnicos, esto a su vez evita que existan fraudes. (Piñeiro, 2000, pág. 23).

1.9.1.2 Metrología científica

La metrología científica basa su función en la investigación y mantenimiento de los patrones de medición. Esta metrología se conoce también como metrología general, asumiendo todo problema relacionado con la metrología y encargándose de estudiar, generar y aprobar nuevos modelos de instrumentos que puedan ser utilizados para la medición. (Diaz, 2007).

1.9.1.3 Metrología industrial

Se encarga de brindar a la industria fundamentos técnicos de precisión para calibrar y verificar los diferentes instrumentos empleados para medición, a su vez la metrología industrial provee a los laboratorios los instrumentos y elementos de referencia para la calibración de los dispositivos de ensayos (Diaz, 2007, pág. 167).

1.9.2 Calibrar

El termino calibrar hace referencia al acto de realizar mediciones y comparar la lectura entregada por un instrumento de medición con respecto a un patrón de valor o referencia, para calibrar un elemento es indispensable disponer de un instrumento que posea alta precisión que se conoce como instrumento patrón, una vez se tiene el valor de medida

referente se realizan diferentes números de tomas con el fin de tener un acercamiento en cada dato más a el patrón de referencia, finalmente, se establece la trazabilidad del instrumento y medidas efectuadas para darle una incertidumbre conocida. Cuando se realiza una calibración es de importancia obtener un valor no negativo que califique la repartición de datos medidos (Valcarcel, 1995).

1.9.3 Equipos utilizados para calibrar

1.9.3.1 Horno metrológico FLUKE 9142

Son equipos utilizados para entregar altas y bajas temperaturas, su funcionamiento se basa en el efecto Peltier, este fenómeno consiste en la utilización de corriente eléctrica por un circuito que se compone de diferentes materiales que se encuentran unidos a una misma temperatura en donde una parte del elemento absorbe el calor y en la otra se desprende. Dicho lo anterior, los hornos metrológicos o también conocidos como hornos secos utilizan celdas de Peltier lo que hace que no necesiten de líquidos térmicos para su funcionamiento.

El equipo FLUKE 9142 es un calibrador que comprende un alto rendimiento principalmente en los campos y entornos industriales brindando una gran funcionalidad. En la Figura 20 se puede ver que estos equipos cuentan con un tamaño y peso reducido lo que facilita su portabilidad. Para su mejor desempeño su velocidad de trabajo es ideal siendo capaz de enfriar hasta los $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y calentar hasta los $660\text{ }^{\circ}\text{C}$. A su vez dispone de un gradiente de temperatura que en un sistema de control se ajusta a las características de funcionamiento de este. Su rango de resistencia se encuentra comprendido entre los 0 ohmios y los 400 ohmios. . (FLUKE, 2007).



Figura 20. Calibrador FLUKE 9142 ²⁰

²⁰ Imagen tomada de: <https://www.fluke.com/es-co/producto/herramientas-de-calibracion/calibradores-de-temperatura/fluke-calibration-9144> el 07/03/2020

1.9.3.2 Baño líquido

El baño líquido consta de un recipiente fabricado en acero inoxidable que en el interior tiene un agitador, un termómetro de referencia y un regulador de temperatura. También cuenta con un líquido el cual aumenta la conductividad y evita la formación de gradientes de temperatura. El líquido contenido en el interior del recipiente de acero inoxidable varía dependiendo del rango de temperatura de trabajo como se muestra en la

Tabla 1. (Creus, 2009, pág. 110)

Líquido	Temperatura
Tricloroetileno	-80°C a temperatura ambiente
Etilenglicol y Agua	-20°C a temperatura ambiente
aceite líquido y aceite de silicona	temperatura ambiente a 260°C
sales sólidas a temperatura ambiente	220°C a 700°C

Tabla 1. Líquidos conductores según el rango de temperatura

1.9.4 Ajustar

Ajustar está directamente relacionado con la manipulación del instrumento, es decir, la inspección que se le realiza a un equipo; esta manipulación se da cuando al haber realizado previamente la calibración se detecta algún error en el sistema, en ese caso se puede intervenir el elemento y aproximar todo lo posible al valor indicado por el patrón. Cabe resaltar que no todo instrumento permite ser ajustado y no todo error del sistema se puede corregir. Una vez detectado el error del sistema se procede al ajuste de este, posterior a esto se debe realizar una segunda calibración para confirmar que el proceso fue exitoso. (Piñeiro, 2000).

1.9.5 Verificar

Verificar es dar certeza de que un instrumento u objeto cumple con las especificaciones exigidas y pactadas. La verificación de cada producto implica el aval de que funciona en óptimas condiciones por lo cual no se considera correcto decir que se está verificando un equipo al momento de calibrar, es necesario contar con alguna evidencia que soporte que el equipo fue debidamente verificado. (Piñeiro, 2000, pág. 20).

1.9.6 Repetibilidad

La repetibilidad es la toma de medidas consecutivas obteniendo valores cercanos entre sí en un rango de medición específico. Es decir, la repetibilidad es la capacidad que tiene un equipo, instrumento o elemento para arrojar los mismos resultados bajo las mismas condiciones.

1.9.7 Incertidumbre

También conocido como el margen de error al tomar una medida, dicho margen es descrito con el signo \pm y hace referencia a la diferencia del valor que es medido y el valor real o verdadero. La incertidumbre presenta factores que intervienen en ella como por ejemplo el instrumento de medición utilizado, las condiciones ambientales entre otras. (Barragan, 2007)

1.9.8 Trazabilidad

La trazabilidad se define como la serie de procedimientos documentados de múltiples calibraciones que arrojan un resultado de medida que da la posibilidad de ser vinculado con una referencia mayor, estas referencias generalmente son patrones nacionales o internacionales (Piñeiro, 2000)

1.10 MÓDULO DE TEMPERATURA

Un módulo de temperatura se define como una estructura conformada por diferentes instrumentos o piezas empleadas para la medición de dicha variable los cuáles tienen una organización dirigida a optimizar recursos (Porto & Gardey, 2009) Generalmente un módulo de temperatura posee un sistema electrónico automatizado o controlado que contiene otros componentes que se encuentran interconectados entre sí. El módulo se encuentra compuesto por una estructura física que a su vez se puede definir como un grupo de partes que conforman un conjunto, cada una de estas partes tiene una ubicación que complementa a las demás y contribuye a mantener la integridad de su combinación, teniendo en cuenta las dimensiones del espacio físico.

2 DISEÑO DEL MÓDULO DE TEMPERATURA

2.1 RECONOCIMIENTO Y ANALISIS DE CONDICIONES INICIALES DEL MÓDULO DE TEMPERATURA

Se presenta el proceso de reconocimiento y análisis del estado inicial del funcionamiento y distribución de los instrumentos que componen el módulo de temperatura.

2.1.1 Reconocimiento del estado actual del módulo de temperatura

En la Figura 21 se muestra el espacio de trabajo disponible. Este se encuentra dividido en cuatro zonas: la primera zona está compuesta por un baño líquido que realiza un control de temperatura tipo ON/ OFF mediante el registro con un termómetro bimetálico y una RTD Pt100 de 3 hilos los cuales se comparan en un rango de valores y cuenta con una válvula de bola que se utiliza para el proceso de desagüe. Este instrumento se encuentra aislado y retirado de los demás ya que su funcionamiento implica el llenado de este con agua lo que hace que sea necesario que su ubicación esté lo más cercano posible al lavado.

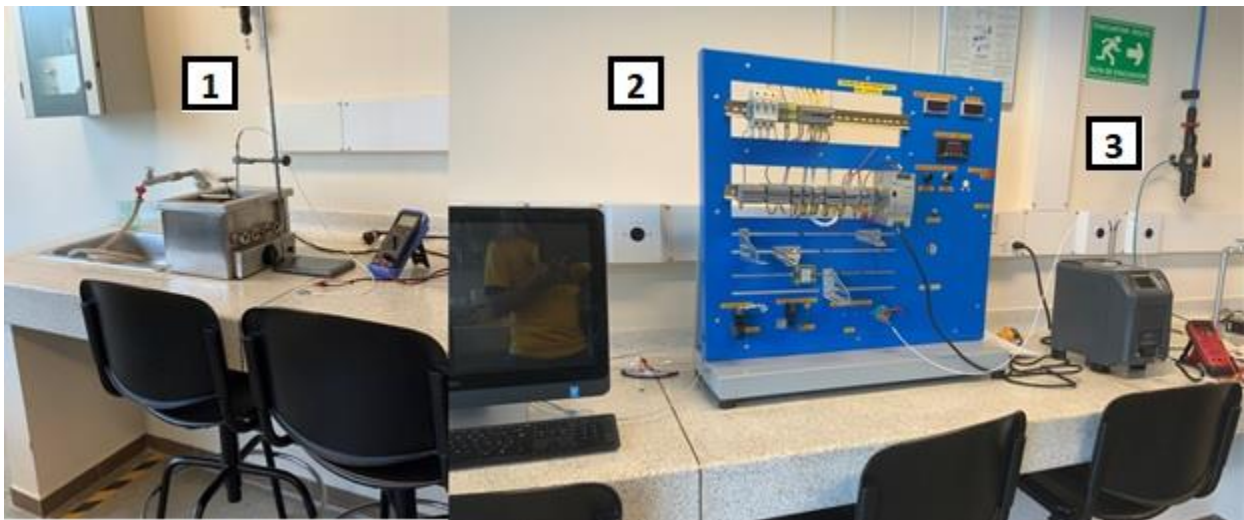


Figura 21. Espacio de trabajo ²¹

²¹ Imagen del autor tomada el 05/09/2019

La segunda zona está conformada por un computador cuya función principal era almacenar el software del baño seco que se mencionará a continuación. Tiene una función complementaria que es permitir realizar consultas de información durante las prácticas.

La tercera zona está compuesta por un tablero de instrumentos y un baño seco (también conocido como horno metrológico) de marca Fluke que cumple la función de controlar la temperatura de manera proporcional a través de un controlador PID. El tablero de instrumentos fue reutilizado y adaptado para la operación y funcionamiento de algunos elementos de medición de temperatura, tiene una estructura inestable, aunque amplia y la distribución actual que presenta corresponde a un diseño pensado previamente para incorporar otros instrumentos, como sensores ópticos, sensores fotoeléctricos, sensores capacitivos, sensores inductivos, válvulas de control, relés de estado sólido, voltímetros y amperímetros. Debido a lo anterior, el tablero tiene un porcentaje considerable de su espacio sin utilizar, además de los elementos sin uso que ya se mencionaron.

Por último, dentro del espacio de trabajo, se tiene una zona de uso específico para el desarrollo de la práctica de termografía. En la Figura 22 se pueden observar los elementos correspondientes a esta práctica, los cuales son la cámara termográfica marca Fluke y un computador, este último utilizado para ejecutar el software asociado a la cámara.



Figura 22. Zona de trabajo para cámara termográfica ²²

²² Imagen del autor tomada el 05/09/2019

En la Figura 23 se muestran el grupo de elementos que son utilizados para las prácticas de laboratorio. Este grupo consta de lo siguiente: una fuente de voltaje Simex (1) que cuenta con una entrada variable entre 100-120 VAC / 3.3A y 200- 240VAC/ 2.0A y tiene una salida de 24 V / 5.0 A, ésta alimenta los instrumentos que se encuentran acoplados al tablero. Adicionalmente (2) cuenta con tres indicadores digitales de marca Autonics, de los cuales uno de ellos es un indicador de temperatura para RTDPt100 Ω con un rango 0-400 °C utilizado ocasionalmente para visualizar la temperatura sensada por una RTDPt100. Los otros dos indicadores corresponden a un multímetro y un voltímetro. Se tiene un transmisor de temperatura (3), el cual cuenta con un tipo de entrada adaptado para una RTDPt100 y pt 1000 de 3 hilos. Este transmisor de temperatura con referencia XU2HN Head mount Non-Isolated transmitter cumple la función de convertir la señal resistiva entregada por una RTDPt100 en una señal estandarizada de 4-20 mA caracterizar la RTD con el fin de conocer la relación existente entre temperatura vs corriente. Por último, se tiene un breaker (4) que es utilizado como protección de la fuente de alimentación.



Figura 23. Tablero de instrumentos ²³

Los elementos descritos y señalados en la Figura 23 tienen un uso dentro de las prácticas de laboratorio asignadas.

²³ Imagen del autor tomada el 05/09/2019

2.1.1.1 Análisis de condiciones actuales de operación

Como se ha mencionado anteriormente el módulo de temperatura actualmente presenta algunas falencias en cuanto a la distribución y el aprovechamiento del espacio. Para empezar a describir estas falencias, se debe partir del elemento principal del módulo de temperatura el cual es el tablero de instrumentos. Al realizar una observación detallada se encontró que el tablero contiene elementos los cuales no cumplen una función dentro de las prácticas de temperatura desarrolladas en el laboratorio, estos elementos fueron mencionados en el reconocimiento del estado actual y mostrados en la Figura 23.

Como parte del análisis de las condiciones de operación se observó que el diseño actual del tablero tiene una carencia en cuanto a versatilidad para adaptarse a cambios que requieran hacerse cuando alguna situación lo amerite. Elementos como los indicadores digitales, transmisores de temperatura y demás elementos que tienen un uso constante, no pueden ser trasladados de forma sencilla a otras ubicaciones debido a que es una arquitectura de diseño fijo. Adicionalmente la estructura mecánica del tablero presenta cierta inestabilidad debido al material en el que se encuentra construido.

Al hacer una inspección del espacio de trabajo se encontró que la distribución de las zonas presenta condiciones que pueden ocasionar dificultades al momento de desarrollar las practicas. En el caso de la zona donde se encuentra el baño liquido existe un riesgo potencial debido a que éste no se encuentra a una distancia suficiente del computador lo cual puede ocasionar algún accidente relacionado con su operación. Adicionalmente la distribución general del espacio no se encuentra optimizada para facilitar la interacción entre los equipos y el tablero de instrumentos.

Como última parte del análisis y teniendo en cuenta el inventario que se presentará más adelante hay elementos que se encuentran almacenados en un armario dentro del laboratorio que está alejado del espacio de trabajo. Estos elementos no se encuentran organizados correctamente y al estar alejados del módulo de temperatura se colocan en un segundo plano de utilización. También, se analizó que diversos instrumentos son colocados en cajas en donde se encuentran mezclados entre sí. Algunos elementos como las RTD's, los bastones de acople, los insertos, entre otros, no están depositados en un lugar exclusivo con el debido cuidado y una mala manipulación podría ocasionar averías en dichos instrumentos.

2.1.2 Inventario de instrumentos

Como parte del proceso de reconocimiento de los instrumentos que integran el módulo de temperatura se realizó el inventario que permitió exponer las condiciones actuales del módulo y su respectivo análisis. En este, se muestra de manera detalla y organizada todos y cada uno de los instrumentos empleados para medir temperatura que se

encuentran disponibles en el laboratorio de instrumentación de la UPB. Para realizar el inventario, se identificaron las características respectivas de cada instrumento, la disponibilidad, la cantidad y los elementos adicionales que hacen parte de estos. En el Anexo 1 se presenta el registro de los instrumentos existentes actualmente en el laboratorio.

2.2 DISEÑO DE ESTRUCTURA, DISTRIBUCIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL MÓDULO

A continuación, se muestra el proceso de diseño, distribución y reorganización del módulo de temperatura teniendo en cuenta el espacio con el que se dispone en el laboratorio, las especificaciones de los diferentes instrumentos y el análisis de las condiciones actuales realizado previamente.

2.2.1 Reorganización del espacio y Diseño de estructura.

Para el desarrollo de la reorganización del módulo de temperatura se inició con la evaluación del espacio disponible para la ubicación de cada una de las zonas de trabajo. En la Figura 24 se presenta el espacio con el que se cuenta entre las zonas 1,2, y 3, donde se puede observar las dimensiones del espacio de trabajo.

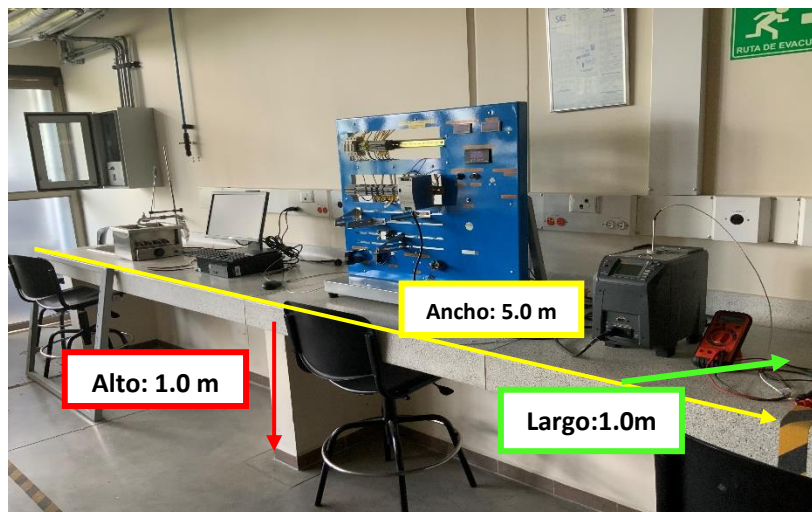


Figura 24. Dimensiones del área de trabajo ²⁴

²⁴ Imagen del autor tomada el 05/09/2019

Una vez se identificaron las dimensiones del área disponible de trabajo, se procedió a realizar la distribución para mejorar el aprovechamiento del espacio. Para hacer la distribución fue necesario tener en cuenta algunas condiciones de operación de los instrumentos en donde se debe partir de un elemento fijo el cual es el baño líquido, ya que como se mencionó anteriormente su funcionamiento requiere del uso del lavado para el llenado y el desagüe. Teniendo en cuenta lo anterior, los demás elementos deben ser ubicados de tal manera que su operación no se vea afectada por posibles salpicaduras o contacto directo con el agua.

La reubicación de los instrumentos y elementos utilizados para medir temperatura se consideró de tal forma que el espacio existente entre estos sea eficiente e independiente sin que interfirieran entre sí al momento de desarrollar las prácticas.

De acuerdo con lo anterior, la redistribución se realizó ubicando como elemento central el tablero de instrumentos. Partiendo de esta ubicación los demás elementos se posicionaron de tal manera en que se pudiera realizar las conexiones respectivas con el tablero.

El tablero de instrumentos como se mencionó en el ítem 2.1.1.1, presentaba una estructura con diversas falencias, debido a esto se optó por realizar el diseño de una estructura que contara con una mayor estabilidad y versatilidad al momento de realizar cualquier cambio en los elementos acoplados a él. Una vez se identificaron las falencias se planteó un prototipo de diseño que les diera solución. Por medio de un software de modelado mecánico llamado SOLIDWORKS. Este brinda la posibilidad de crear piezas, realizar planos y bosquejos de uno o más elementos en 2D y 3D que se acercan a una visualización realista y dinámica de un diseño o dibujo previamente pensado. Para utilizar el software es necesario tener en cuenta que al momento de diseñar cualquier elemento primero se construyen las piezas que lo conforman y posteriormente son ensambladas en el sistema CAD (diseño asistido por computadora).

Como idea principal para obtener el diseño del tablero se pensó en una estructura que cumpla con tres condiciones; la primera es que sea rígida es decir; que al momento de aplicarle alguna fuerza externa no se distorsione o se altere; la segunda condición es que la estructura sea estable evitando que sea derribada con facilidad y por último que sea resistente esto con el fin de que los elementos que hacen parte de la estructura sean capaces de mantener su posición sin estar sometidos a averías. Para unificar lo planteado, el modelado fue considerado en un material metálico resistente como se muestra en la Figura 25. que tenga un grosor mediano y esté fijado mediante una base al mesón y a la pared por medio de tornillos. El cuerpo del tablero fue pensando en base a una estructura que se encuentra disponible actualmente en el laboratorio el cual es material restante producto del diseño de otro tipo de modulo y que se encuentra almacenada.

El diseño del tablero cuenta con medidas aproximadamente de 1.0 m de alto por 1.2 m de ancho. En la Figura 26 se presentan las rejillas que se incorporaron al diseño. Éstas

fueron pensadas para darle versatilidad en caso de ser necesario modificar o cambiar la posición de algún elemento que haga parte de él.

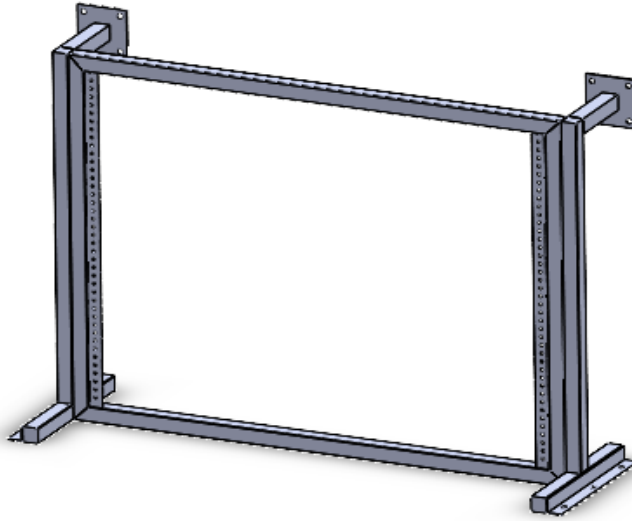


Figura 25. Prototipo de diseño del tablero de instrumentos ²⁵

Las rejillas cuentan con ranuras que facilitan el acople de cualquier elemento al tablero. Esta pieza fue diseñada en un material igualmente metálico y resistente. Para que la rejilla y los elementos e instrumentos sean fijados al tablero, su estructura cuenta con espacios entre ranuras que por medio de tornillos permiten asegurar y sujetar la rejilla al tablero.

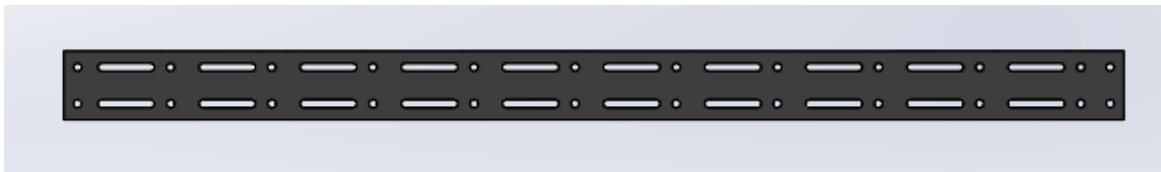


Figura 26. Diseño de rejilla para acople en tablero de instrumentos ²⁶

Una vez creado el prototipo del tablero deseado y las rejillas donde se ubicarían los elementos, se ensamblaron las diferentes piezas, dando como resultado final el tablero que se muestra en la Figura 27. Allí se observa un tablero funcional que permite ubicar diferentes instrumentos o elementos con la posibilidad de ser modificado en cualquier momento.

²⁵ Imagen del autor

²⁶ Imagen del autor

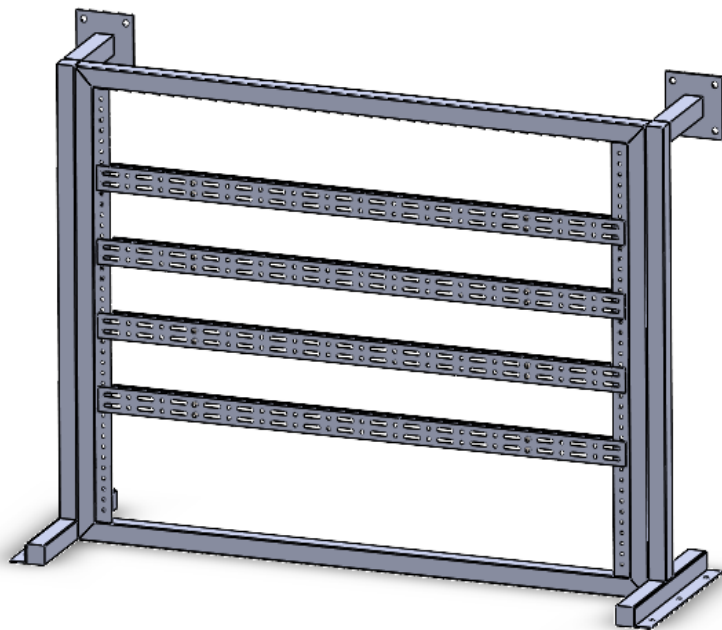


Figura 27. Diseño del nuevo tablero de Instrumentos ²⁷

Como siguiente paso se realizó la representación en SOLIDWORKS de los elementos que serían ubicados teniendo como referencia el tablero de instrumentos. Según lo analizado es necesario que el tablero esté en una posición central debido a las conexiones que se hacen entre los instrumentos.

En la Figura 28 se muestra la ubicación de los elementos principales del módulo de temperatura. Para decidir la ubicación del tablero se tuvieron en cuenta principalmente dos motivos que se presentan a continuación. El primero fue un tema tratado anteriormente que implica la seguridad para instrumentos como el computador y el baño seco, evitando averías causadas por posibles salpicaduras de agua a la hora de manipular el baño líquido. El segundo motivo está relacionado con las conexiones que deben hacerse para el uso de las RTD's en la práctica del baño seco, las cuales pueden conectarse a un multímetro independiente o a un indicador ubicado en el tablero, por lo que se necesita que mantengan un mínimo de distancia con éste. Además de tener en cuenta que el horno metrológico (Baño seco) es un instrumento que funciona como equipo principal de calibración y verificación en el laboratorio de instrumentación; permitiendo realizar la parametrización y ajuste de los diversos sensores que se utilizan en las prácticas de temperatura y por tanto requiere mantener cercanía con estos.

²⁷ Imagen del autor

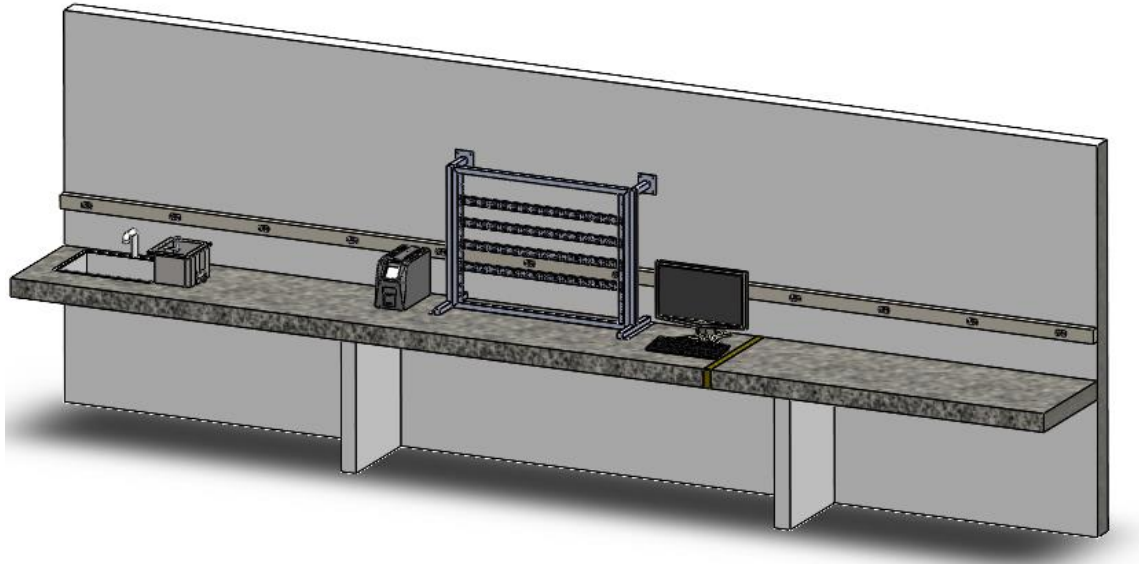


Figura 28. Ubicación y distribución general del módulo de temperatura.²⁸

2.2.2 Ensamblaje de piezas individuales en la estructura y representación gráfica en 3D de la nueva distribución.

La ubicación y la distribución general de elementos como el Horno metrológico (baño seco), el baño húmedo, el computador y la estructura que conforman el módulo de temperatura, permitió realizar la incorporación de los instrumentos que harían parte del tablero. Para esto se tuvo en cuenta el inventario ya mencionado en donde se pudo analizar cada uno de los componentes, la funcionalidad de estos y la utilidad que representan durante las prácticas de temperatura.

Inicialmente se realizó un levantamiento de información correspondiente a las medidas y la proporción de todos los instrumentos que posteriormente serían acoplados al tablero. Como se indicó anteriormente en el ítem 2.1.1.1 elementos como las RTD's y los termopares no se encuentran al alcance, por tal motivo se realizó el diseño de un soporte dentro del tablero de instrumentos como se observa en la figura Figura 29 que permitiera mantener estos tipos de sensores expuestos a temperatura ambiente y disponible para la utilización en las prácticas de laboratorio. El soporte cuenta con dos orificios verticales uno en la parte superior de forma hueca y el otro en la parte inferior, siendo este último un orificio que tiene un fondo plano donde los elementos pueden reposar, el soporte está diseñado para adaptar sensores de hasta 25 cm de largo que protegen las RTD's y los termopares, dicho diseño se pensó para la ubicación de elementos simultáneos.

²⁸ Imagen del autor

Adicionalmente cuenta con orificios que permiten que éste sea fijado mediante tornillos a la rejilla.

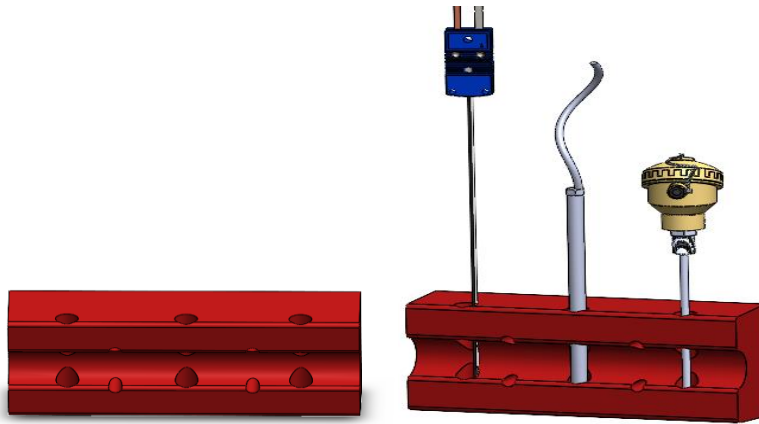


Figura 29. Diseño de soporte de sensores.²⁹

Una vez diseñados los soportes correspondientes a las RTD's y los termopares se realizó el diseño y el ensamblaje dentro de la estructura de los transmisores de temperatura como se observa en la Figura 30. El laboratorio de instrumentación cuenta con transmisores que presentan una configuración que se realiza por un comunicador de mano y también con transmisores de configuración tipo programable. Teniendo en cuenta las características de estos instrumentos, los transmisores de tipo programable se ensamblaron en la parte inferior derecha de la estructura manteniendo una distancia cercana al computador que facilitara la conexión realizada por medio de un conector USB.

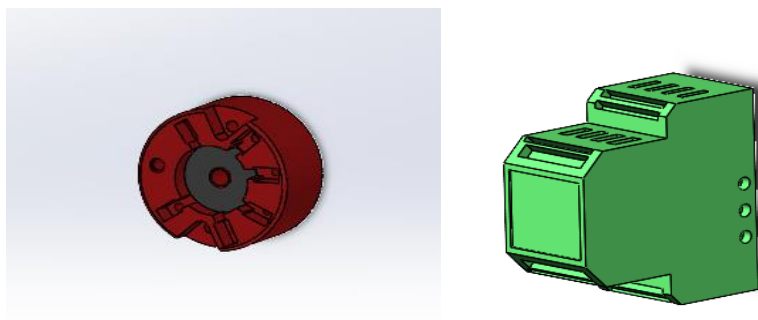


Figura 30. Diseño y ensamblaje de transmisores de temperatura ³⁰

²⁹ Imagen del autor

³⁰ Imagen del autor

Por otra parte, existen prácticas de temperatura que utilizan transmisores con configuración realizadas por comunicador de mano. En la Figura 31 se observa el diagrama de conexiones que se realiza para el desarrollo de una de estas, en donde se emplea una fuente de voltaje, un amperímetro, un transmisor de temperatura de 4 a 20mA (SIEMENS SITRANS TH300), una RTDpt100 y el horno metrológico (Baño seco).

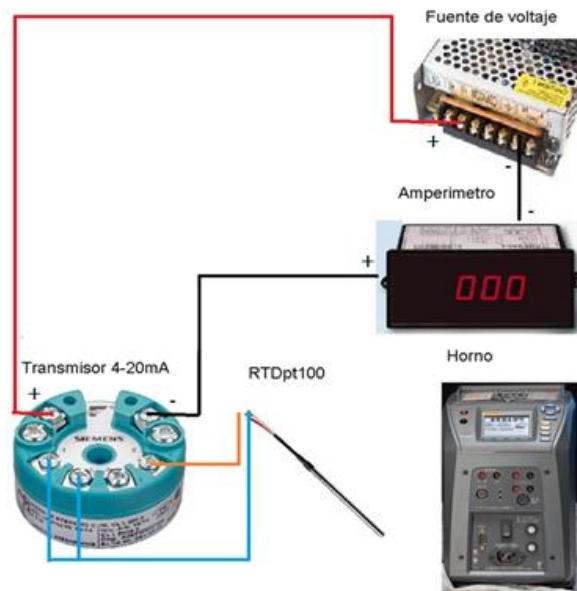


Figura 31. Diagrama de conexiones utilizando un transmisor 4-20mA³¹

Los instrumentos descritos anteriormente se incorporaron en el diseño de la nueva estructura en donde se ubicó el soporte de las RTD's cerca al horno metrológico, seguido del transmisor de temperatura. Durante el proceso de ensamble de los transmisores al tablero de instrumentos, se tuvo en cuenta que contaran con su respectivo voltímetro, amperímetro digital e indicador de temperatura, este último con el fin de facilitar la lectura de dicha variable en caso de que sea requerida.

Dentro de los instrumentos incorporados y ensamblados al tablero, se encuentra un termómetro bimetálico el cual tiene un rango de 0°C a 250 °C. Para que este fuera acoplado se diseñó un soporte individual que se fijó a la estructura. El proceso de construcción de los elementos en el software SOLIDWORKS se realizó a escala real. Por último, para identificar cada instrumento se diseñaron letreros en donde fueron colocados los nombres de los elementos respectivamente.

De acuerdo con las especificaciones descritas en el ítem 2.1.1 que se tuvieron en cuenta para la reorganización del módulo de temperatura, se presenta a continuación en la Figura 32 el diseño final de este. Allí se observa la ubicación de los instrumentos

³¹ Imagen tomada de la guía de laboratorio titulada: Transmisor de Temperatura 4 a 20mA.

utilizados para la medición de la temperatura distribuidos en las diferentes zonas de trabajo y la incorporación del tablero en donde fueron integrados elementos como transmisores de temperatura, termómetros, RTD's, termopares y pantallas indicadoras de variables como corriente, voltaje y temperatura.

En el Anexo 2 se presenta el diseño de los elementos e instrumentos que hicieron parte la reorganización del nuevo módulo de temperatura.

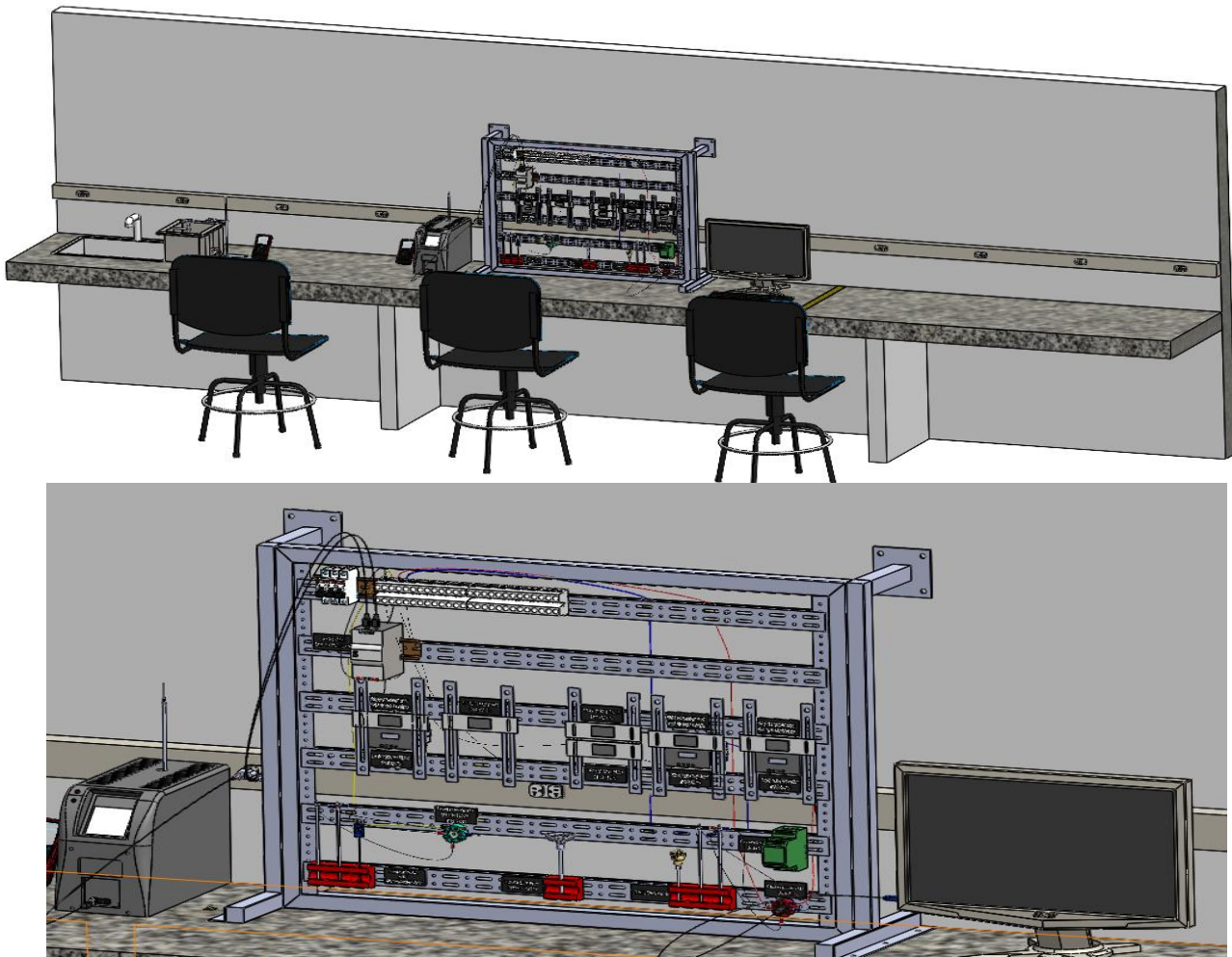


Figura 32. Diseño Final del módulo de temperatura ³²

³² Imagen del autor

3 CONFIGURACIÓN DE TRANSMISORES DE TEMPERATURA PARA LAZOS DE CONTROL ESTANDARIZADOS.

3.1 VERIFICACIÓN DEL SOFTWARE Y HARDWARE PARA LA CONFIGURACIÓN DE LOS TRANSMISORES.

En este capítulo se evidenciará el proceso de configuración de los transmisores de temperatura para lazos de control estandarizado. El laboratorio de instrumentación de la UPB cuenta con transmisores de la marca INTECH con las referencias XU2HN Y XU2. Como se explicó con anterioridad en el ítem 1.7.2, estos transmisores son de tipo programable por tanto requieren una previa verificación del software para su correcto funcionamiento.

Para llevar a cabo lo anterior, se procedió a realizar la instalación del software INTECH XU USB, el cual es incluido en un CD por el proveedor al momento de adquirir el equipo. No obstante, también se puede obtener directamente de la página oficial de INSTRUMENTS LTD, cabe señalar que la comunicación entre el transmisor y el ordenador se realiza mediante el programador XU-USB. En la Figura 33 se muestra el programador, donde se observan los puertos correspondientes a la conexión con el computador. Estos utilizan un puerto de comunicación de tipo plug el cual puede variar en su tamaño por lo que incluye un adaptador.



Figura 33. Programador XU-USB ³³

³³ Imagen del autor

A continuación, se mencionan los pasos para el proceso de instalación de este en un equipo que cuente con un sistema operativo Windows.

Para realizar de manera exitosa la instalación del software es recomendable previamente instalar Microsoft .NET.2.0

- a. Inserte el CD que contiene el software y haga doble clic en la carpeta llamada: Install. Una vez se encuentra dentro de ésta, ingrese a la subcarpeta denominada XU, allí encontrara el archivo titulado: XUInstall.msi. el cual deberá ser ejecutado como administrador. En la Figura 34 se muestran los pasos descritos anteriormente.

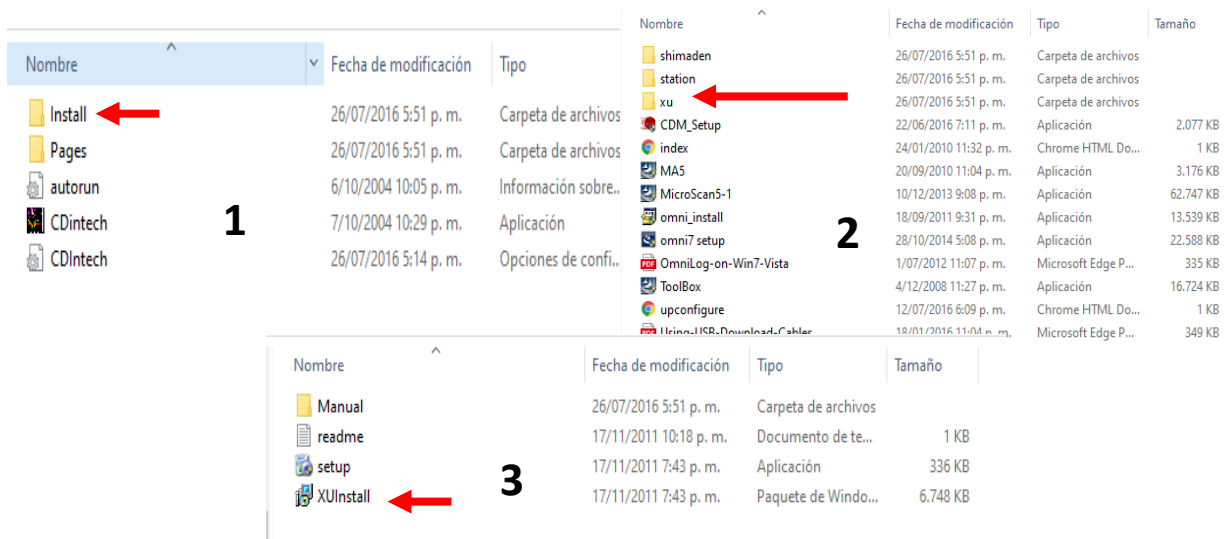


Figura 34. selección de instalador para transmisores ³⁴

Una vez es ejecutado el archivo XUInstall.msi, se abrirá la pantalla de inicio de instalación como se muestra en la Figura 35.

Para continuar con la instalación se seleccionará la opción “Next” en todas las ventanas. Finalmente, en la última ventana se indica que la instalación se encuentra completa y se procede a seleccionar la opción “close” como se muestra en la Figura 36.

³⁴ Imagen del autor



Haga clic en Siguiente

Figura 35. Pantalla de inicio para instalación del Software ³⁵

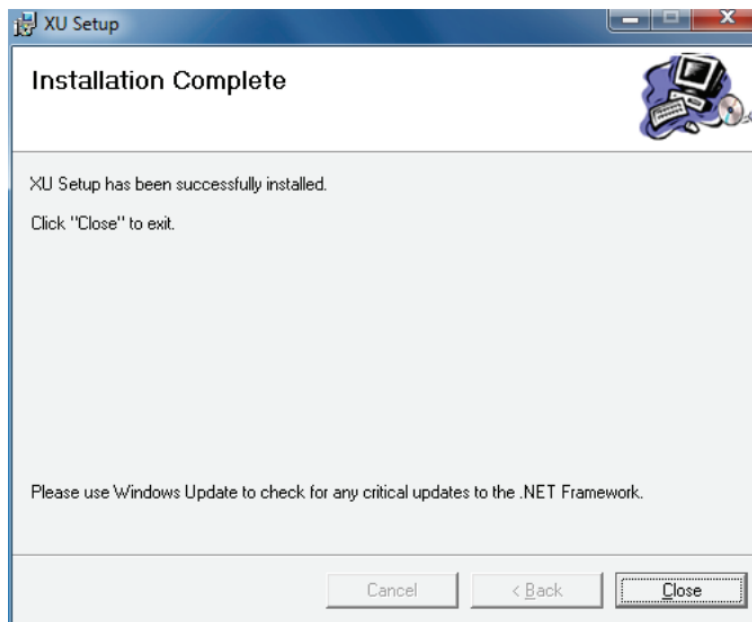


Figura 36. instalación de software completa ³⁶

³⁵ Imagen del autor

³⁶ Imagen del autor

INSTRUMENTS LTD incluye dentro del software los controladores correspondientes, los cuales son instalados de manera automática al momento de detectar la conexión del XU-USB.

- b. Una vez realizada la instalación del programa, se creará un acceso directo en el escritorio con el nombre "XU Setup". Al ejecutarse se encontrará una ventana como se muestra a continuación en la Figura 37 Inicialmente se puede observar que gran parte de las opciones se encuentran desactivadas, pero se resalta la opción "connect" la cual será visualizada con el fin de indicarle al usuario que el programa se encuentra preparado para reconocer la conexión realizada mediante el cable XU-USB y disponible para que Windows instale de forma automática los controladores.

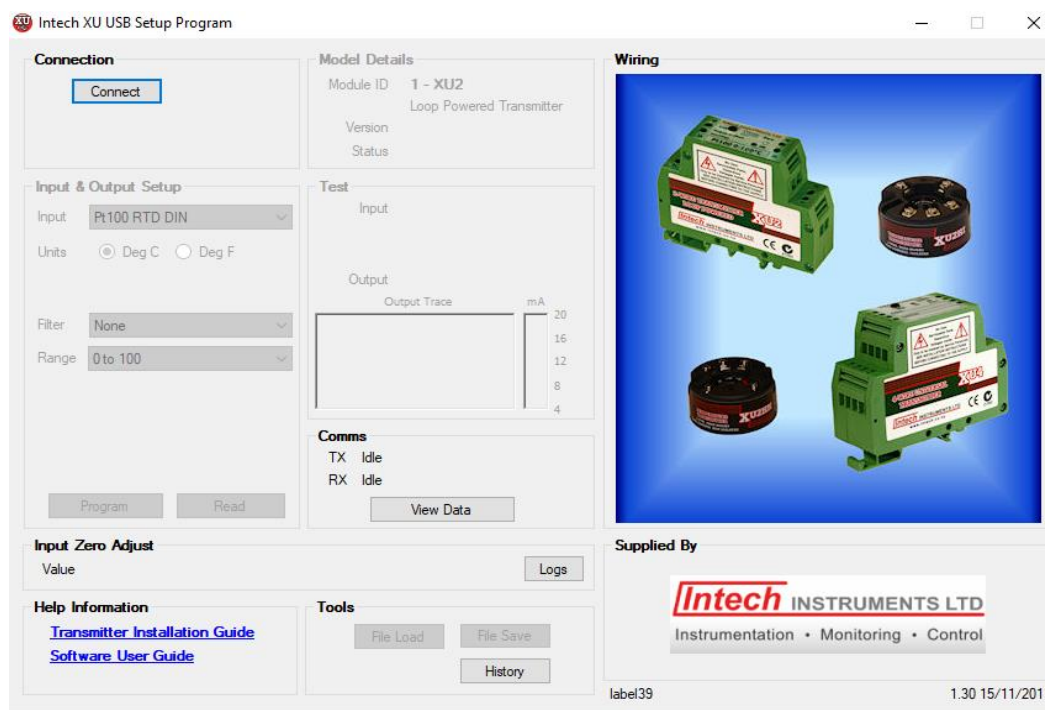


Figura 37. Interfaz gráfica del software ³⁷

Al hacer la conexión del transmisor por medio del cable USB con el computador se procede a realizar la configuración del modelo del transmisor conectado dando clic en el icono "connect".

En la Figura 38 se muestra la interfaz gráfica externa en la cual se realiza la lectura y los ajustes automáticos al momento de conectar el transmisor XU2HN. Por medio de esta

³⁷ Imagen del autor

ventana el usuario puede comprobar que se está llevando de forma exitosa el proceso de reconocimiento del equipo conectado.

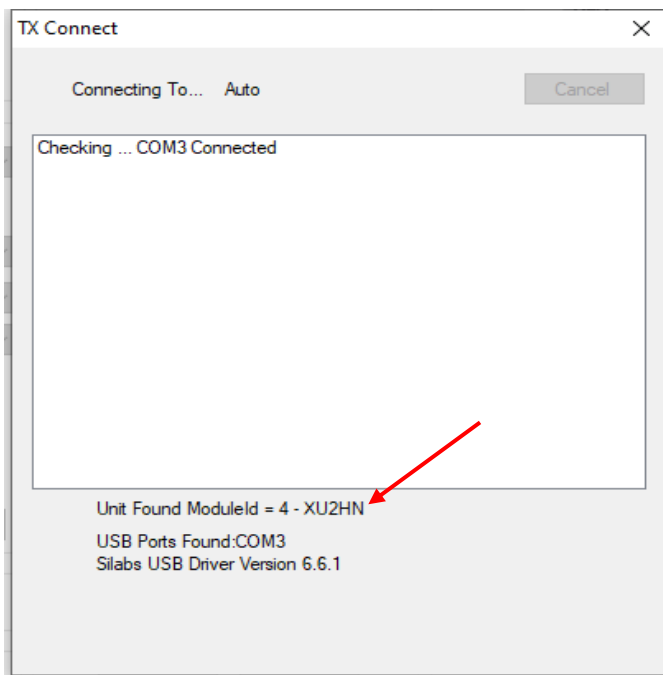


Figura 38. Lectura y ajuste del transmisor XU2HN ³⁸

A continuación, se ejecutará el panel de conexión donde es posible realizar una previa verificación de la configuración del hardware, este dependerá del modelo de transmisor conectado. En la Figura 39 se observa el panel de conexión del transmisor XU2HN, allí se muestra la información referente al tipo de entradas y salidas disponibles según el elemento conectado (RTD's, termopares, entre otros) y la configuración que se debe tener en cuenta. Así mismo, dentro de dicho panel se visualizan advertencias como se observa en la Figura 40 , entre las más destacadas son la verificación de la polaridad inversa.

Al ejecutarse el panel se activarán las opciones que inicialmente se encontraban desactivas, esto indicará que se estableció la comunicación entre el transmisor y el software. En caso de que se desee detener la comunicación es importante hacer clic en el elemento llamado "Disconnect". Por otra parte, si el transmisor se desconecta del XU-USB la conexión inmediatamente expirará.

³⁸ Imagen del autor

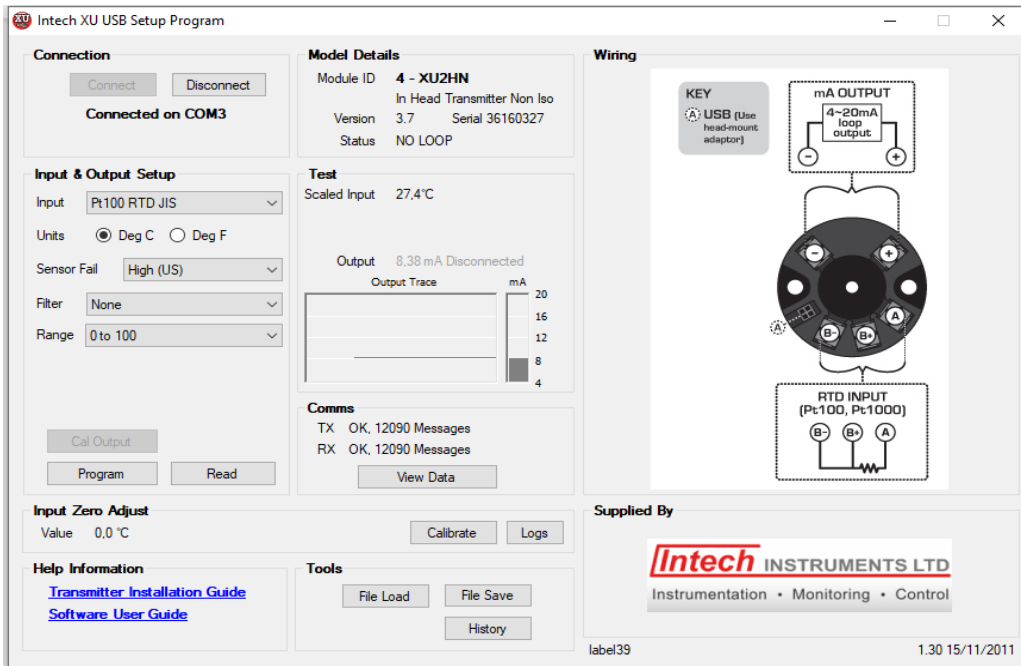


Figura 39. Panel de conexión del transmisor XU2HN ³⁹

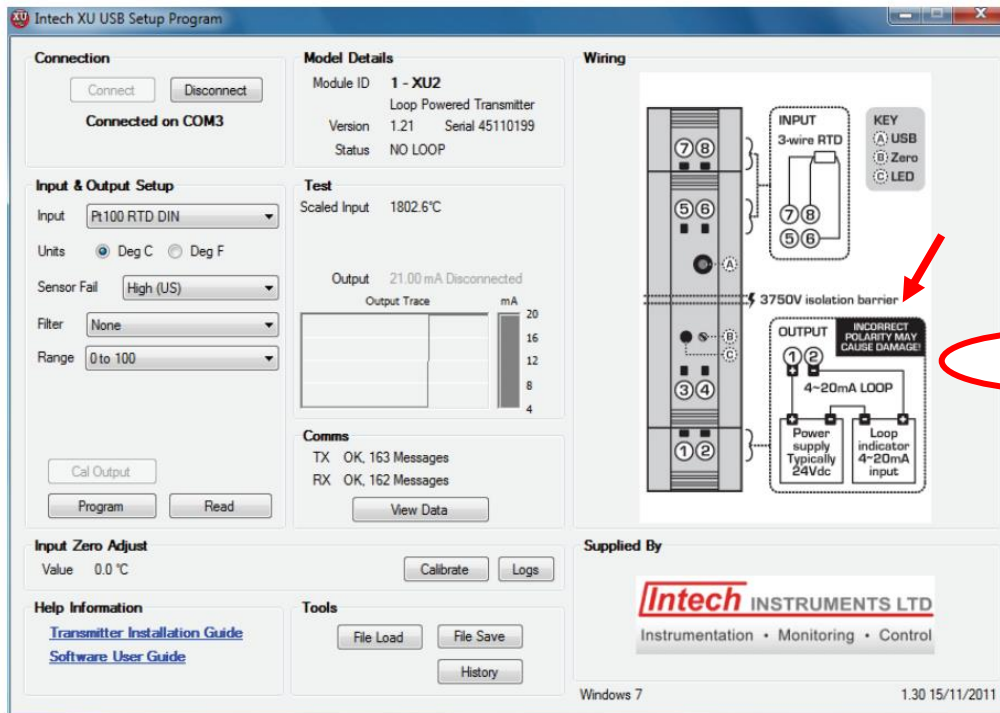


Figura 40. Advertencias de configuración del transmisor XU2 ⁴⁰

³⁹ Imagen del autor

⁴⁰ Imagen del autor

- c. Configurar el rango y tipo de entrada requerido. La interfaz gráfica de la Figura 41 muestra el panel de opciones correspondientes al tipo de entrada (input) que se desea conectar, las unidades de temperatura (Celsius, Fahrenheit), los filtros de tiempo y el rango de temperatura. Para que este sea configurado deberá desplegar las opciones que se encuentran en cada uno de estos.

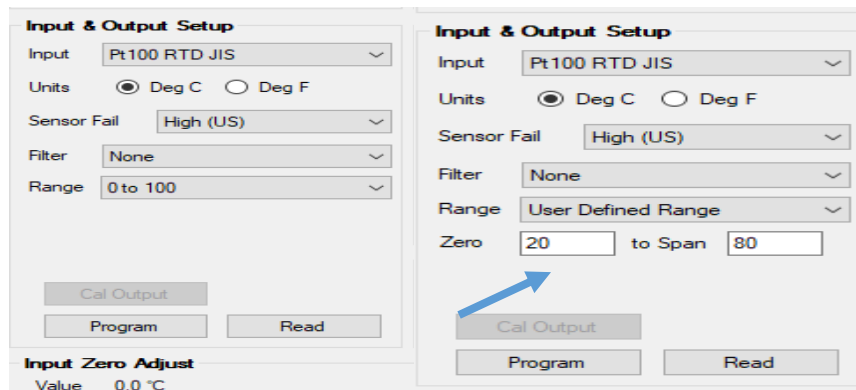


Figura 41. Configuración del rango y tipo entrada en un transmisor.⁴¹

La opción “Range” (rango), brinda la posibilidad de que este sea configurado con los valores ya definidos por el programa o que el usuario determine el rango deseado por medio de la opción “ User Defined Range”, colocando así, el rango mínimo y el rango máximo.

Teniendo las opciones requeridas y la configuración deseada, es necesario seleccionar el botón “Program”. A continuación, se observará la ventana de la Figura 42 donde se indicará el estado de la programación del transmisor.

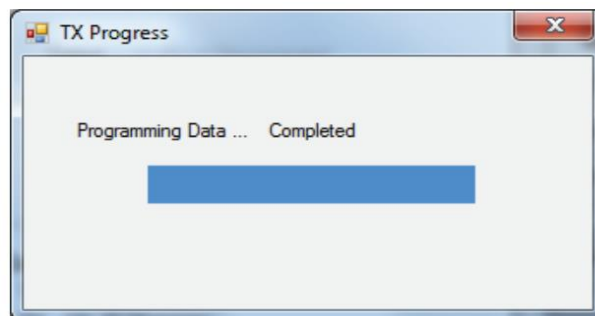


Figura 42. Estado de la programación.⁴²

⁴¹ Imagen del autor

⁴² Imagen del autor

Es muy importante que el transmisor no sea desconectado al momento de ser programado, esto podría ocasionar que deje de funcionar de manera correcta. En caso de que se presenten errores se mostrara la interfaz de la Figura 43

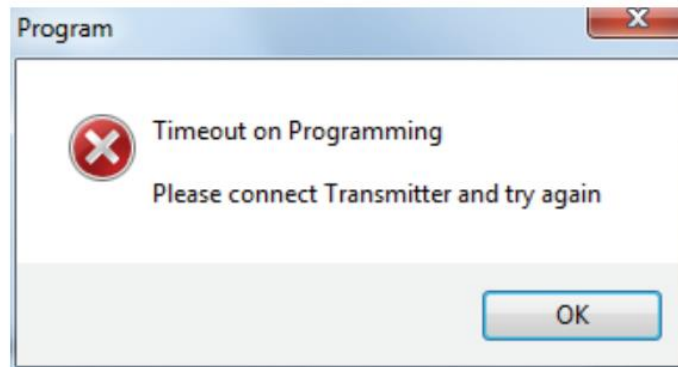


Figura 43. Error durante la programación.⁴³

Para dar solución a lo anterior, deberá conectar nuevamente el transmisor mediante el cable XU-USB e iniciar la operación de configuración. Para encontrar información de ayuda adicional puede dirigirse a “ Help Information” como se muestra en la Figura 44.

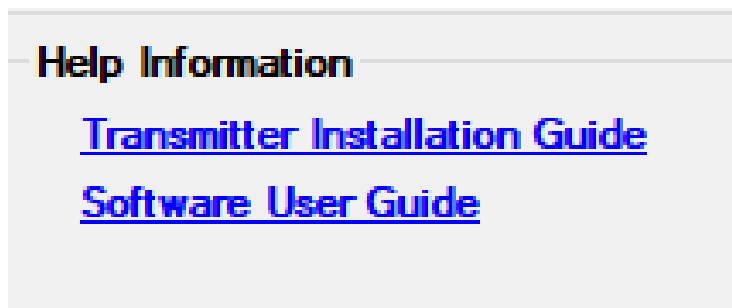


Figura 44. Información de ayuda ⁴⁴

- d. Realice los ajustes correspondientes de entrada cero, para esto, seleccione la función “Calibrate” como se muestra en la Figura 45. Esta interfaz le permite modificar la lectura de entrada, ya sea aumentando o disminuyendo el valor según lo requerido (los valores pueden comprender números positivos o negativos).

⁴³ Imagen tomada de: <https://www.intech.co.nz/>

⁴⁴ Imagen del autor

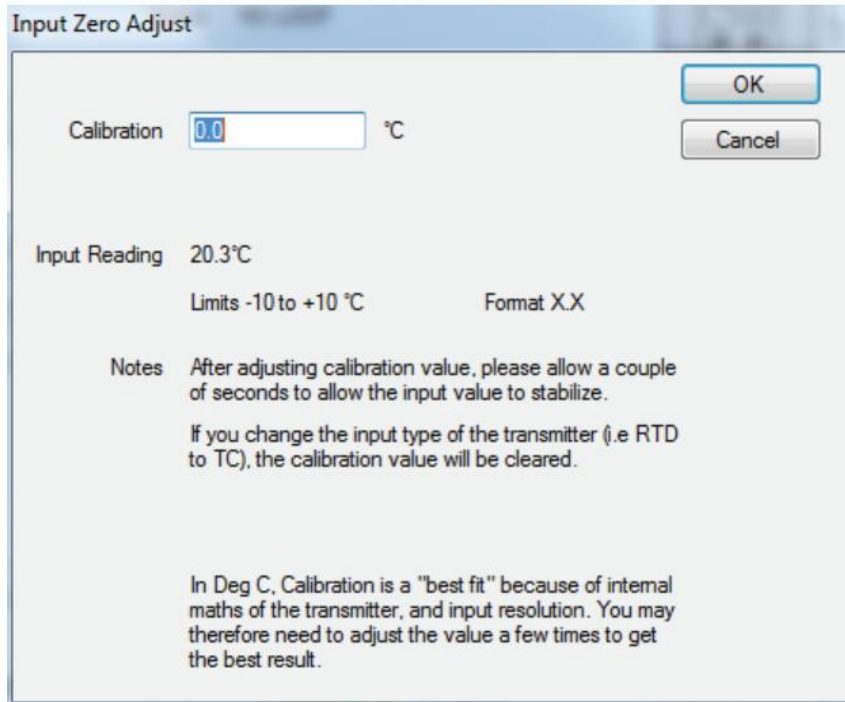


Figura 45. Ajuste de entrada cero.⁴⁵

e. Realice las pruebas de funcionamiento y el análisis de la información. Para realizar las pruebas primero se debe verificar el estado y los detalles del modelo del transmisor. La Figura 46 muestra la conexión que se encuentra activa 4-XU2HN y el estado “NO LOOP” el cual indica que no se encuentra conectada una salida de 4-20 mA.

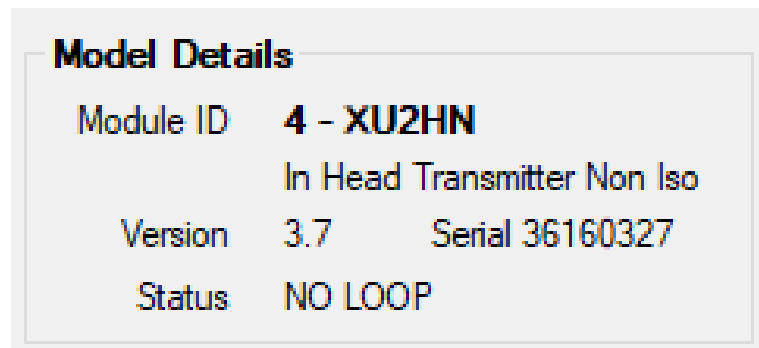


Figura 46. Detalles del modelo del transmisor.⁴⁶

Así mismo, en la Figura 47 se muestra el panel de prueba, en este se indican los valores actuales de entrada y salida y una gráfica que brinda la información del comportamiento de la salida del transmisor, donde inicialmente por conexión USB mostrará un estado de

⁴⁵ Imagen del autor

⁴⁶ Imagen del autor

“Disconnected”. Como se explicó anteriormente, dicho estado se da cuando no hay una salida de 4-20mA. La interfaz también permite comprobar mediante la línea de texto “TX” y “RX” el estado de comunicación entre el transmisor y la unidad.

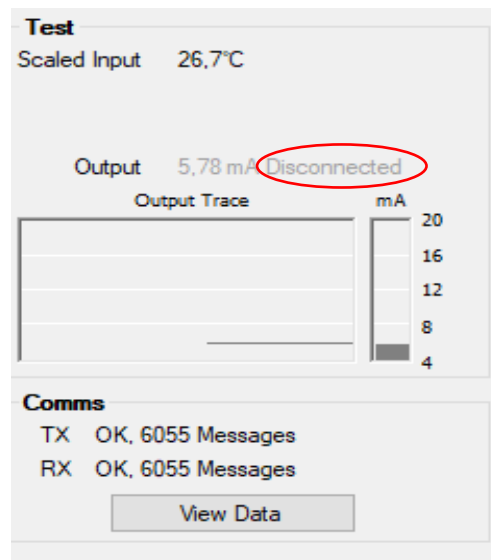


Figura 47. Panel de prueba del transmisor por conexión USB.⁴⁷

Dentro de las herramientas disponibles en el software, se encuentra la opción “Tools”. En la Figura 48 se muestra la interfaz gráfica correspondiente. Por medio de “File Save” el usuario podrá guardar la programación realizada al transmisor, esta configuración se guardará en un archivo .txcal y al mismo tiempo podrá ser cargada nuevamente utilizando la función “File Load” en caso de ser requerida más adelante. Finalmente, la opción de “History” permitirá visualizar el historial de texto de cada uno de los transmisores que han sido programados.

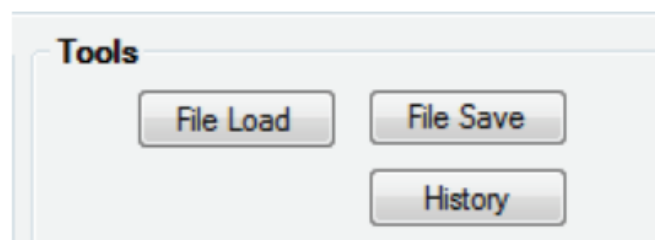


Figura 48. Interfaz de Herramientas ⁴⁸

⁴⁷ Imagen del autor

⁴⁸ Imagen del autor

Al momento de guardar el archivo .txcal que contiene la programación realizada al transmisor este será nombrado automáticamente como se observa en la Figura 49. El nombre del archivo se asigna en base a la configuración del rango.

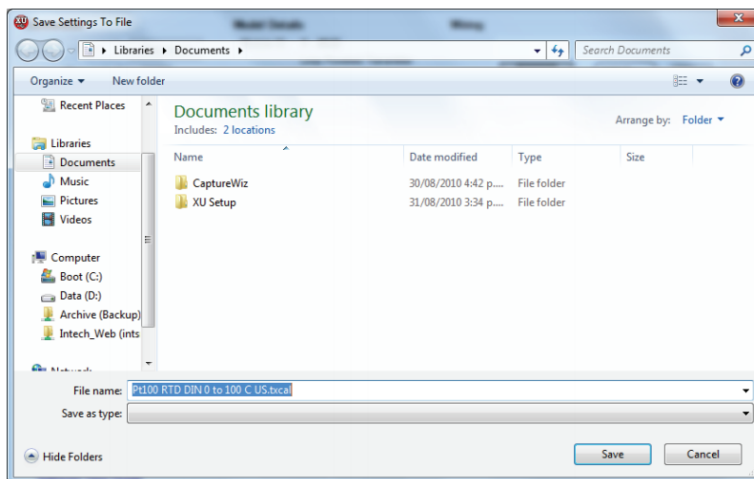


Figura 49. Archivo .txcal ⁴⁹

Para programar un nuevo transmisor de forma automática con la configuración que se guardó previamente, es necesario seguir los siguientes pasos:

1. cierre el programa XU- Setup
2. conecte por medio del cable XU-USB el transmisor que requiera programar
3. Abra el archivo .txcal que guardo previamente
4. Una vez se abre el archivo, el programa XU-Setup se abrirá de forma automática, allí el transmisor realizará la conexión, la programación y finalmente se cerrará.
5. El transmisor se encuentra programado con las configuraciones que se encontraban en el archivo .txcal.

3.2 MONTAJE DEL LAZO DE CORRIENTE EN LÍNEA CON EL CONFIGURADOR.

El proceso de verificación del software y hardware realizado previamente permitió ejecutar la configuración de los transmisores de temperatura. Como se explicó anteriormente, la configuración inicial de un transmisor es fundamental para corroborar que se esté realizando un intercambio de información entre éste y el computador. Lo anterior no indica que el transmisor al ser configurado presente una señal de salida estándar de manera inmediata, por tanto, es necesario crear el lazo de corriente que permita obtener dicha salida.

El lazo seleccionado para el modelo XU2 y XU2HN fue el estándar de 4-20 mA, el cual es utilizado para transmitir una señal eléctrica que puede ser interpretada y al mismo

⁴⁹ Imagen del autor

tiempo brinda la posibilidad de transmitir e intercambiar información en un proceso de control. Teniendo en cuenta el funcionamiento del estándar de 4-20 mA el montaje del lazo de corriente se realizó de tal forma que la señal eléctrica se obtuviera de una fuente de voltaje de 24 VDC y circulara por medio del transmisor de temperatura, pasando por un amperímetro y regresando a la fuente de alimentación en un circuito de configuración tipo serie. El lazo de 4-20 mA a través de un circuito en serie se pensó con el fin de asegurar que la señal electrónica se mantuviera constante en cada elemento que hiciera parte del circuito. Así mismo, el uso de dicho lazo permitió que se detectaran fallas de bucle de manera más clara.

El modelo del circuito planteado para el montaje de lazo de corriente en línea con el configurador se muestra en la Figura 50. Los elementos que se utilizaron fueron: una fuente de voltaje de 24 VDC, un transmisor modelo XU2HN o XU2, un amperímetro y finalmente una RTDPt100.

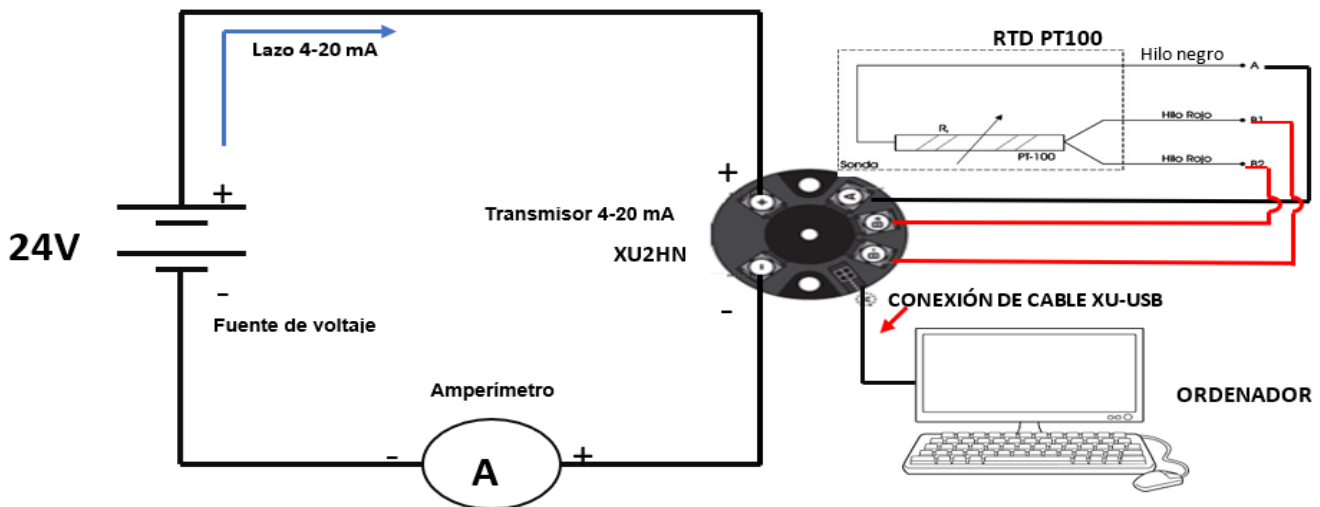


Figura 50. Circuito de lazo de corriente 4-20 mA ⁵⁰

Para realizar el montaje de lazo de corriente que se planteó, fue necesario previamente identificar y verificar el sistema de conexiones que presentaba cada transmisor. Este proceso se hizo mediante el diagrama descrito en el ítem 3.1, en donde el programa XU-setup identificaba el transmisor conectado y arrojaba las conexiones correspondientes. Una vez se identificó el diagrama de conexiones para el transmisor XU2HN se llevaron a cabo una serie de pasos para realizar el montaje del lazo de corriente en línea con el configurador.

⁵⁰ Imagen del autor

1. Ubicar el transmisor sobre una superficie fija.
2. Quitar los tornillos correspondientes a la alimentación del transmisor identificados con símbolos + y -.
3. Verificar con ayuda de un voltímetro que la fuente DC presenta un voltaje de salida de 24V.
4. Ubicar un amperímetro entre la fuente DC y el transmisor de temperatura XU2HN.
5. Introducir los cables en la ranura de alimentación del transmisor y asegurar los tornillos.
6. Conectar el cable del terminal positivo de alimentación del transmisor con el terminal positivo de la fuente de 24 VDC.
7. Conectar el cable del terminal negativo de la alimentación del transmisor de temperatura con el terminal negativo del amperímetro.
8. Conectar el cable del terminal negativo de la fuente de voltaje con el terminal positivo negativo del amperímetro.

Como se mencionó anteriormente, se empleó una RTDPt100 como elemento de medición. Los transmisores XU2 y XU2HN permiten el acople de una RTD de hasta 3 hilos.

9. Quitar los tornillos que se encuentran en el transmisor XU2HN identificados con los siguientes símbolos: B+, B-, A. conectar los dos hilos rojos de la RTD en los terminales B+ y B-, finalmente el hilo negro será conectado en el termina A. Una vez se encuentran las conexiones se aseguran los tornillos.

En la Figura 51 se muestra la interfaz gráfica que indica el estado “OK” con el cual se garantiza que el lazo de 4-20 mA se encuentra conectado. De esta manera se comprueban que las conexiones realizadas son las correctas y que el montaje descrito anteriormente no presentará errores en su operación

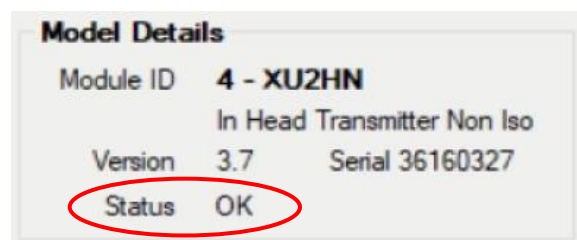


Figura 51. Estado que garantiza el lazo de 4-20 mA ⁵¹

⁵¹ Imagen del autor

En el caso del transmisor XU2 el lazo de corriente utilizado es el mismo de 4-20 mA, pero su montaje de conexión difiere al igual que el rango de temperatura que pueden alcanzar, pues el modelo XU2 presenta un tipo de montaje de riel din y su rango de entrada se encuentra entre 0 °C a 200 °C. Una de sus grandes ventajas es que posee una entrada universal; esto permite conectar diversos tipos de sensores (RTD's, termopares entre otros). En comparación con el transmisor XU2HN, el cual presenta un montaje tipo cabeza y su rango de temperatura radica se ubica entre 0 °C a 100 °C, además de estar diseñado para entradas únicamente de RTD. En la Figura 52 se muestran los terminales de conexiones de entradas y salidas del modelo XU2.

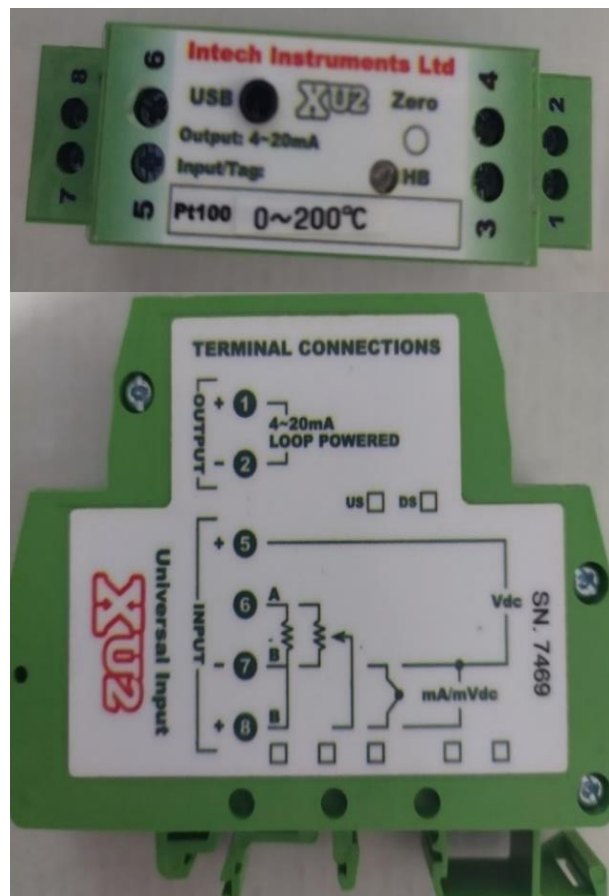


Figura 52. Terminal de conexiones para transmisor XU2 ⁵²

⁵² Imagen del autor

3.3 PRUEBAS DE OPERACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DE LOS TRANSMISORES DE TEMPERATURA

A continuación, se muestra el proceso correspondiente a las pruebas de operación y parametrización de los transmisores de temperatura de los modelos XU2HN y XU2. Estas pruebas no fueron realizadas en el laboratorio de la universidad debido a la actual emergencia sanitaria por el COVID-19, por lo que los equipos como el horno metrológico fueron sustituidos por elementos caseros.

Para realizar las pruebas de operación se tuvo en cuenta el modelo de circuito descrito en el ítem 3.2, dando como resultado el montaje físico que se muestra en la Figura 53. Inicialmente se ubicaron 3 recipientes con agua cada uno de estos bajo condiciones diferentes de temperatura. El primer recipiente fue colocado en una estufa, donde se llevó la temperatura del agua por encima de los 85 °C. El segundo recipiente se le agregó agua que se encontraba a temperatura ambiente de aproximadamente 25°C. Finalmente, el último recipiente fue llevado a un congelador para obtener cubos de hielo y así lograr temperaturas de 0 °C.



Figura 53. Montaje físico de lazo de corriente 4-20 mA en transmisor modelo XU2HN ⁵³

Una vez ubicados los recipientes, en el programa XU Setup se configuraron tres rangos de temperatura de entrada diferentes en los cuales dentro de estos se realizó la medición de la corriente y la resistencia en diferentes valores de temperatura.

Con el fin de obtener la medición de la resistencia, se realizó la conexión de una RTDPt100 de 3 Hilos adicional como se observa en la Figura 54, en donde el hilo negro

⁵³ Imagen del autor

se conectó al terminal del transmisor designado con la letra 'A' así como a el terminal negativo del óhmetro. Por último, los dos hilos rojos restantes de la RTDPt100 fueron conectados al terminal positivo del óhmetro. Las pruebas se llevaron a cabo introduciendo las dos RTD's pt100 en cada uno de los recipientes con agua.

A continuación, se evidencian los resultandos obtenidos en los diferentes puntos de temperatura en el modelo del transmisor XU2.

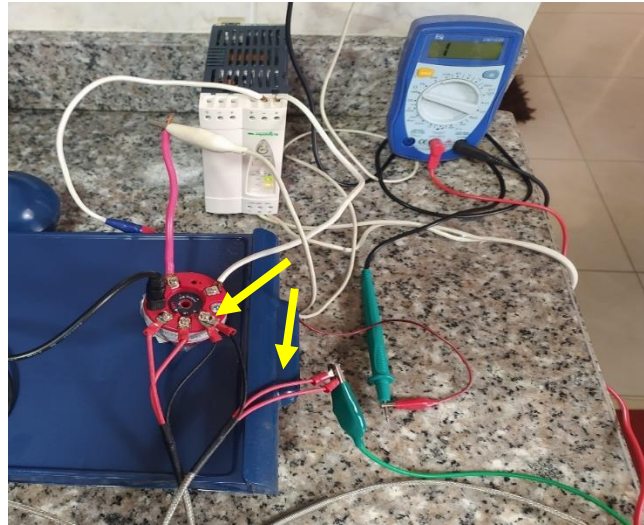


Figura 54. Conexión de RTD para medición de resistencia en el modelo XU2HN ⁵⁴

- Rango de entrada de 0-84 °C en transmisor modelo XU2HN. En la Tabla 2 se muestran los resultados de corriente y resistencia obtenidos en diferentes puntos de temperatura respectivamente.

TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (mA)	RESISTENCIA(Ω)
84.0	20.0	132,8
74.0	18,22	130,2
65,6	16,50	125,3
56,1	14,69	121,5
46,8	12,91	117,5
36,2	10,9	113,7
26,1	8,97	110,5
16,3	7,11	106,2
5,9	5,12	102,6
1.0	4,19	100,6
0,5	4,09	100,5
0.0	4.0	100.0

Tabla 2. Rango de temperatura de 0-84 °C en modelo de transmisor XU2HN ⁵⁵

⁵⁴ Imagen del autor

⁵⁵ Tabla del autor

En la Figura 55 se muestra la gráfica correspondiente a los datos de temperatura y corriente presentados en la Tabla 2.

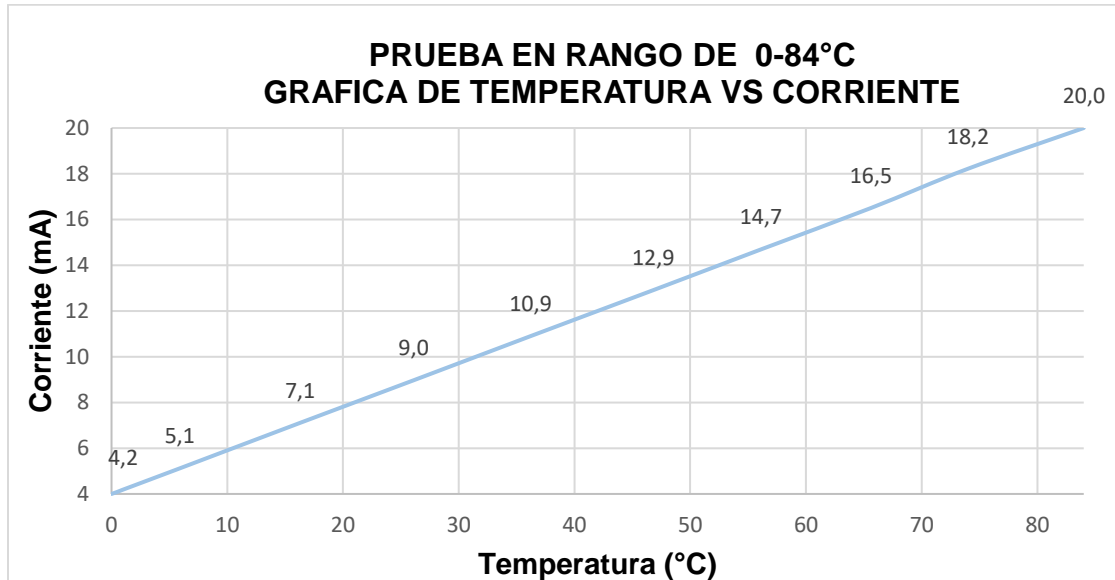


Figura 55. Temperatura vs Corriente en rango 0-84°C en modelo XU2HN ⁵⁶

En la Figura 56 se muestra la gráfica correspondiente a los datos de temperatura y resistencia presentados en la Tabla 2.

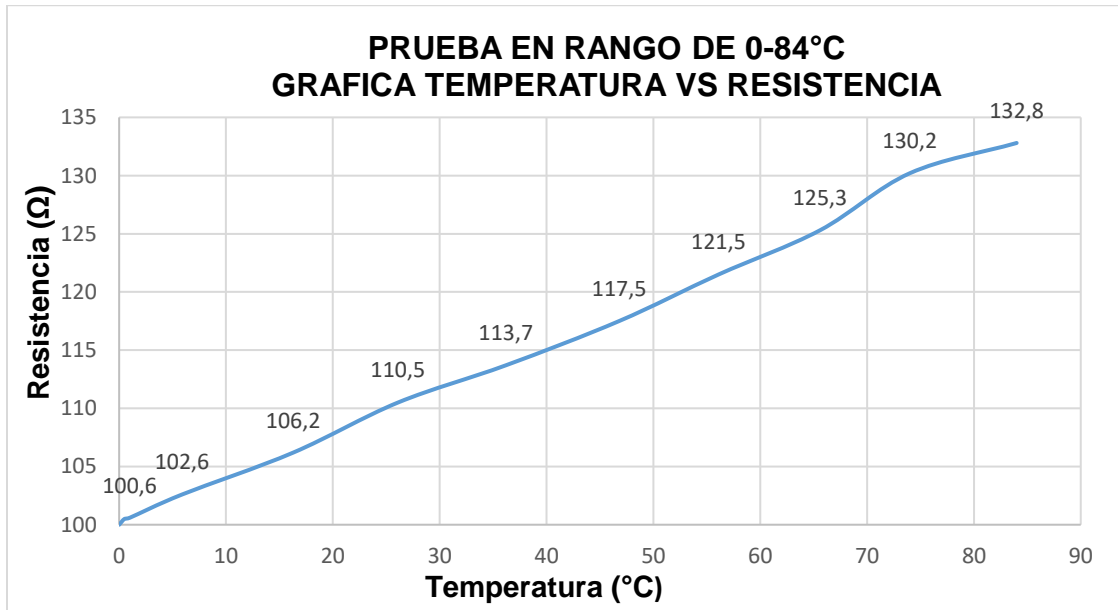


Figura 56. Temperatura vs resistencia en rango de entrada 0-84 °C ⁵⁷

⁵⁶ Imagen del autor

⁵⁷ Imagen del autor

- Rango de entrada de 0-50 °C en transmisor modelo XU2HN. En la Tabla 3 se muestran los resultados de corriente y resistencia obtenidos en diferentes puntos de temperatura respectivamente

TEMPERATURA(°C)	CORRIENTE (mA)	RESISTENCIA (Ω)
50	20.0	120
40	16,78	116
30	13,6	112
20	10,4	108
10	7,16	104
5	5,62	102,5
0	4.0	100

Tabla 3. Rango de temperatura de 0-50 °C en modelo de transmisor XU2HN ⁵⁸

En la Figura 57 se muestra la gráfica correspondiente a los datos de temperatura y corriente presentados en la Tabla 3.

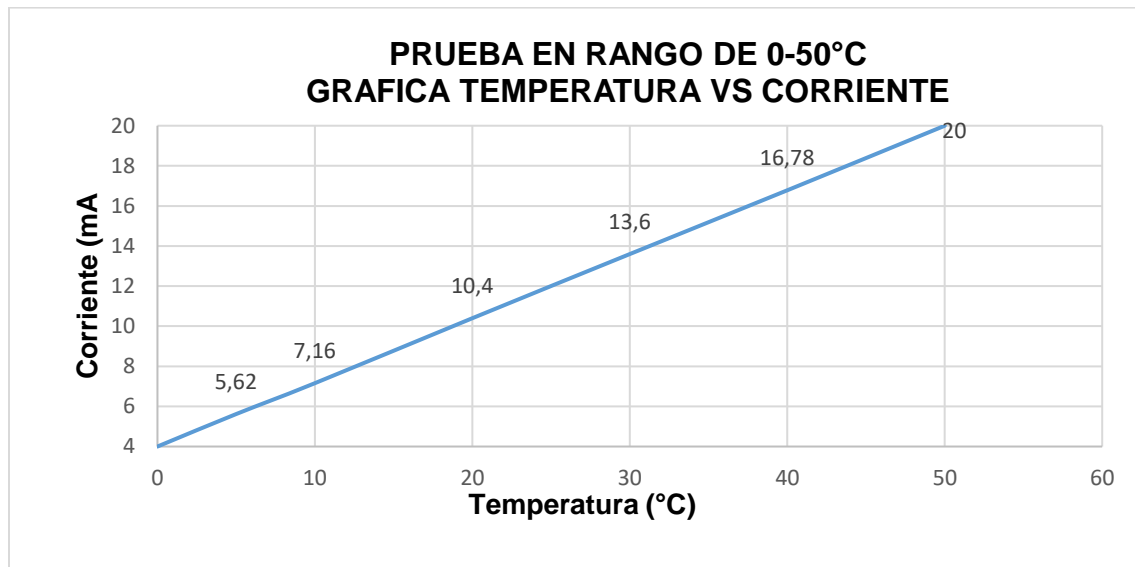


Figura 57. Temperatura vs Corriente en rango de entrada 0-50°C ⁵⁹

En la Figura 58 se muestra la gráfica correspondiente a los datos de temperatura y resistencia presentados en la Tabla 3.

⁵⁸ Tabla del autor

⁵⁹ Imagen del autor

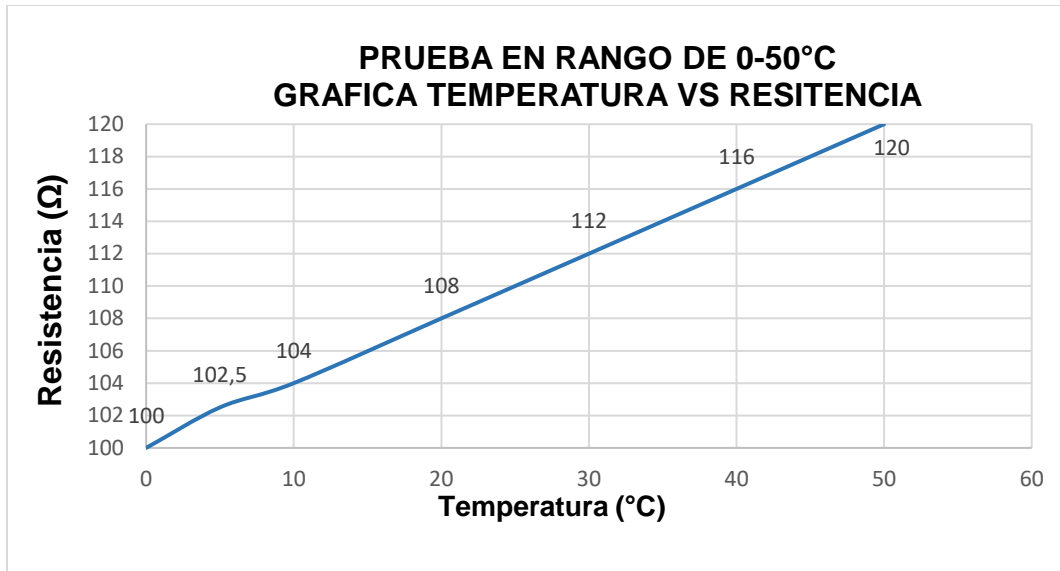


Figura 58. Temperatura vs resistencia en rango de entrada 0-50 °C ⁶⁰

- Rango de entrada de 0-15 °C en transmisor modelo XU2HN. En la Tabla 4 se muestran los resultados de corriente y resistencia obtenidos en diferentes puntos de temperatura respectivamente.

TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (mA)	RESISTENCIA(Ω)
15	20	105,8
14,5	19,47	105,4
9,2	13,84	103,2
8,2	12,71	102,9
6,8	11,23	102,4
6.0	10,4	102,1
5,4	9,75	101,9
3.0	7,2	101
2,5	6,67	100,8
1,9	6,07	100,7
1,1	5,13	100,6
0,5	4,53	100,4
0	4.0	100

Tabla 4. Rango de temperatura de 0-15 °C en modelo de transmisor XU2HN ⁶¹

En la Figura 59 se muestra la gráfica correspondiente a los datos de temperatura y corriente presentados en la Tabla 4.

⁶⁰ Imagen del autor

⁶¹ Tabla del autor

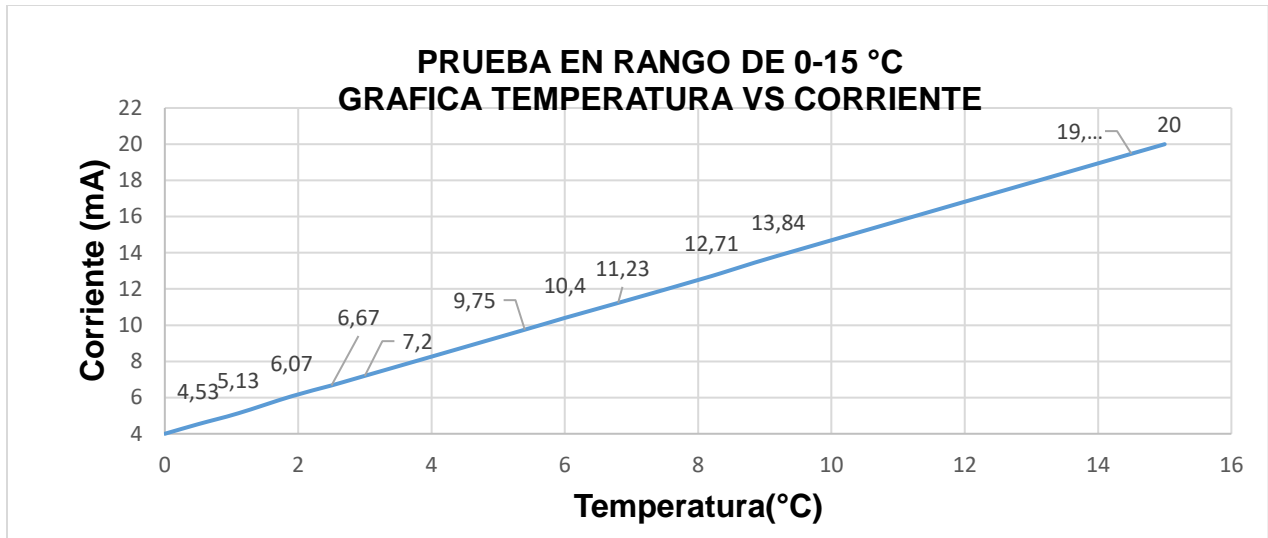


Figura 59. Temperatura vs Corriente en rango de entrada 0-15°C en modelo XU2HN ⁶²

En la Figura 60 se muestra la gráfica correspondiente a los datos de temperatura y resistencia presentados en la Tabla 4.

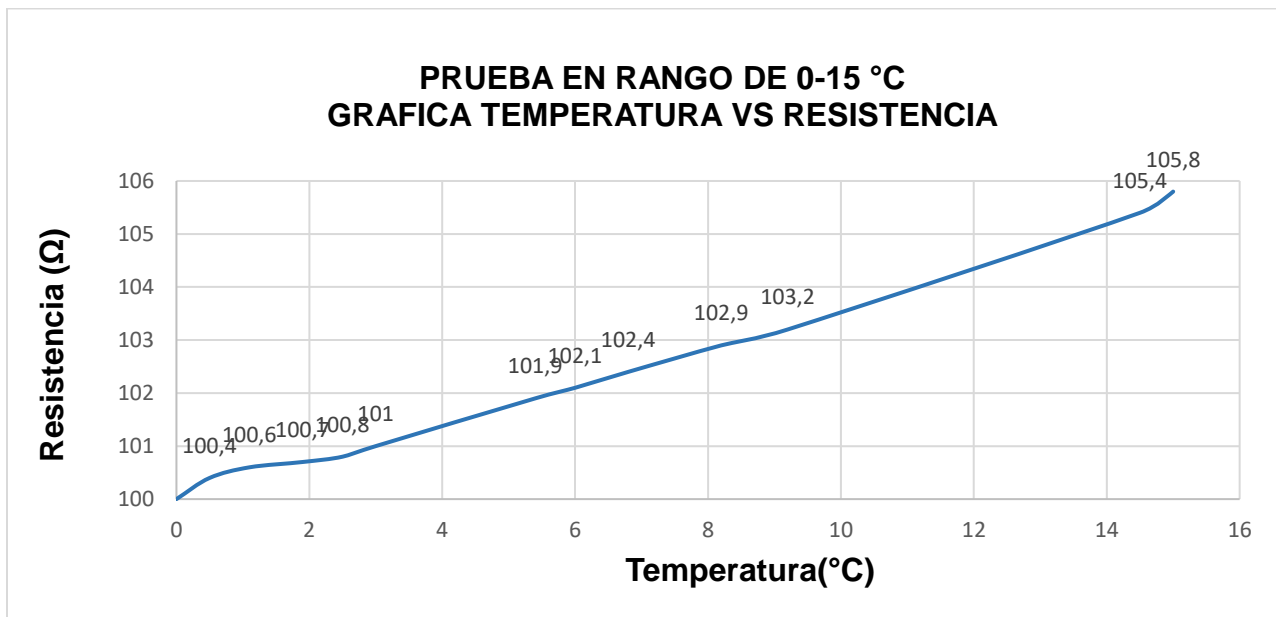


Figura 60. Temperatura vs resistencia en rango de entrada 0-15°C ⁶³

Para llevar a cabo las pruebas de operación y parametrización en el modelo de transmisor XU2 se realizaron las conexiones de los terminales que se mencionaron en la Figura 52. El montaje físico se muestra en la Figura 61, allí se observa un montaje de

⁶² Imagen del autor

⁶³ Imagen del autor

tipo riel din durante las pruebas de operación de dos RTD's Pt100 en condiciones de temperatura de 0 °C.



Figura 61. Montaje físico para pruebas de operación en transmisor modelo XU2.⁶⁴

- Rango de entrada de 0-84 °C en transmisor modelo XU2. En la Tabla 5 se muestran los resultados de corriente y resistencia obtenidos en diferentes puntos de temperatura de forma descendente respectivamente.

TEMPERATURA(°C)	CORRIENTE (mA)	RESISTENCIA (Ω)
84	20	135
74	18,11	130
64	16,19	126
54	14,3	123
44	12,38	118
34	10,48	114
24	8,57	110,7
14	6,64	105,4
4	4,78	101,4
0	4	100

Tabla 5. Rango de temperatura de 0-84 °C en modelo de transmisor XU2 ⁶⁵

⁶⁴ Imagen del autor

⁶⁵ Tabla del autor

En la Figura 62 se muestra la gráfica correspondiente a los datos de temperatura y corriente presentados en la Tabla 5.

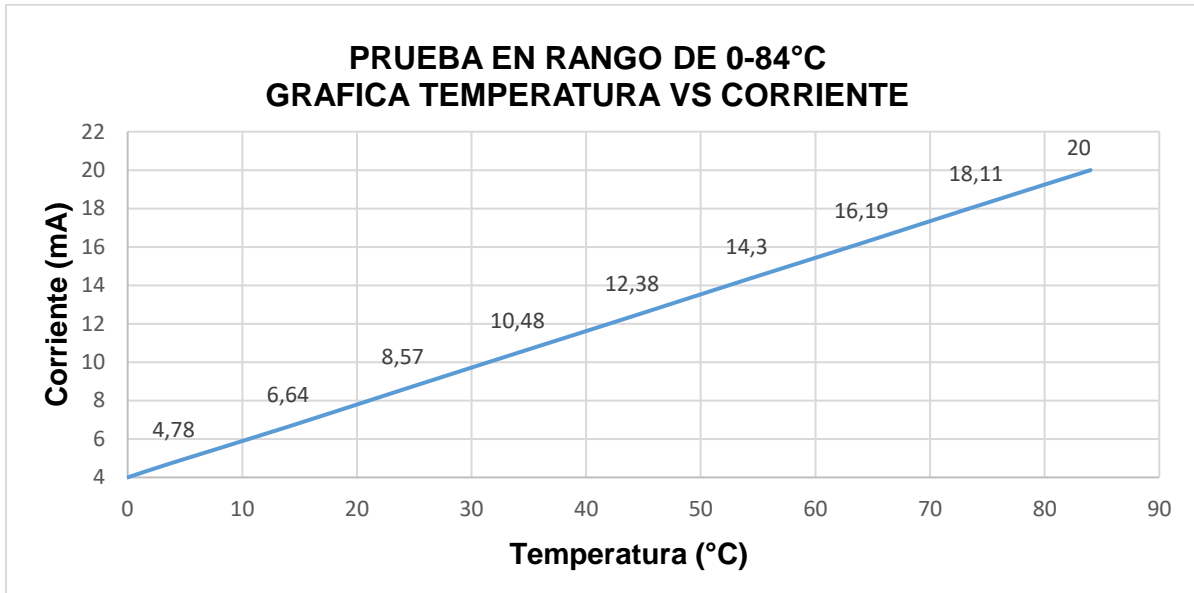


Figura 62. Temperatura vs Corriente en rango de entrada 0-84°C en modelo XU2 ⁶⁶

En la Figura 63 se muestra la gráfica correspondiente a los datos de temperatura y resistencia presentados en la Tabla 5.

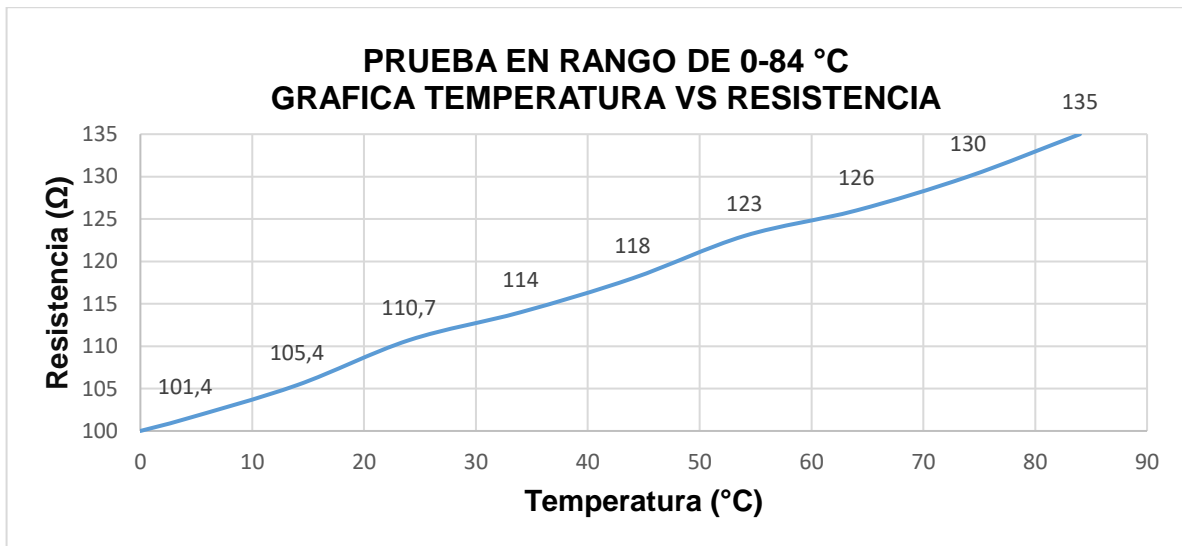


Figura 63. Temperatura vs resistencia en rango de entrada 0-84°C en modelo XU2 ⁶⁷

⁶⁶ Imagen del autor

⁶⁷ Imagen del autor

- Rango de entrada de 0-50 °C en transmisor modelo XU2. En la Tabla 6 se muestran los resultados de corriente y resistencia obtenidos en diferentes puntos de temperatura de forma descendente respectivamente.

TEMPERATURA(°C)	CORRIENTE (mA)	RESISTENCIA (Ω)
50	20	119,4
40	16,6	116,1
30	13,1	111,8
20	10,43	108,03
10	7,18	103,8
5	5,65	102,1
0	4	100

Tabla 6. Rango de temperatura de 0-50 °C en modelo de transmisor XU2 ⁶⁸

En la Figura 64 se muestra la gráfica correspondiente a los datos de temperatura y corriente presentados en la Tabla 6.

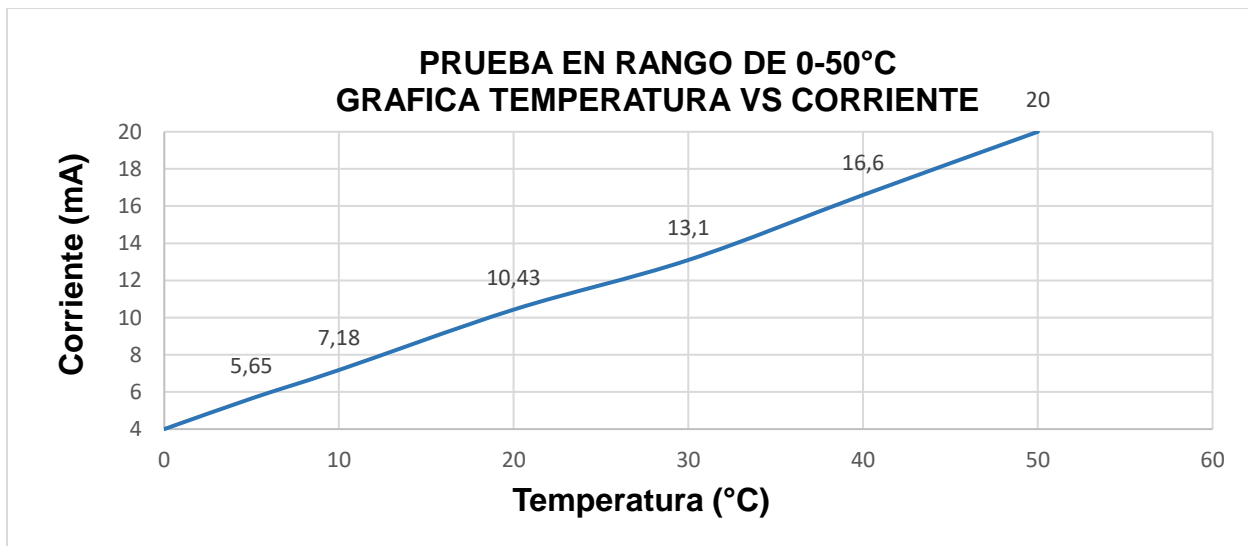


Figura 64. Temperatura vs Corriente en rango de entrada 0-50°C en modelo XU2 ⁶⁹

En la Figura 65 se muestra la gráfica correspondiente a los datos de temperatura y resistencia presentados en la Tabla 6.

⁶⁸ Tabla del autor

⁶⁹ Imagen del autor

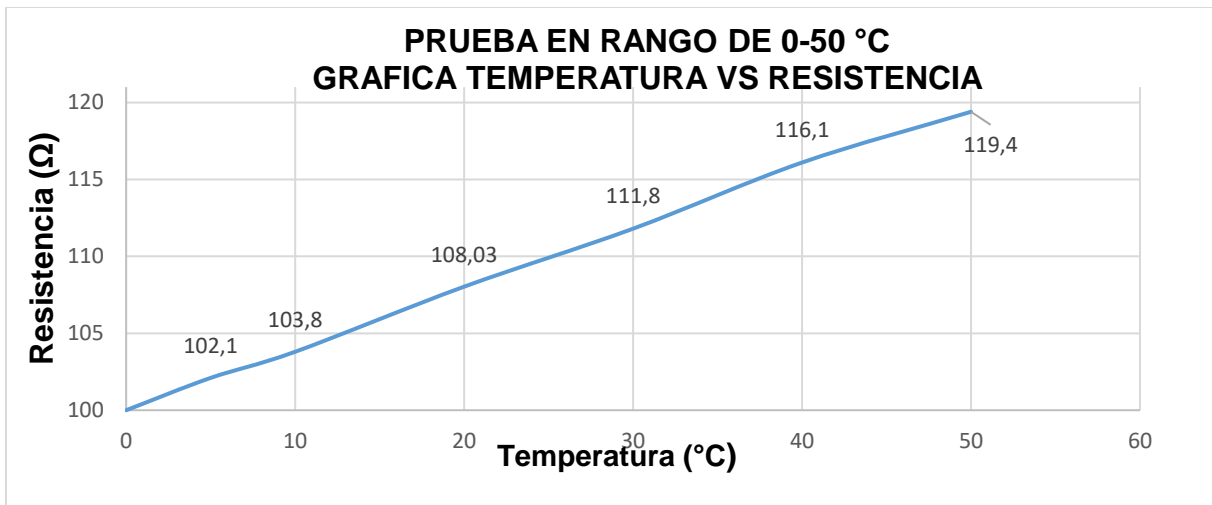


Figura 65. Temperatura vs resistencia en rango de entrada 0-50°C en modelo XU2 ⁷⁰.

- Rango de entrada de 0-15 °C en transmisor modelo XU2. En la Tabla 7 se muestran los resultados de corriente y resistencia obtenidos en diferentes puntos de temperatura de forma descendente respectivamente.

TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (mA)	RESISTENCIA(Ω)
15	20	105,74
14,5	19,25	105,61
9,2	13,76	103,4
8,2	12,74	103,19
6,8	11,11	102,69
6	10,2	102,33
5,4	9,66	101,9
3	7,4	101,1
2,5	6,9	100,72
1,9	6,3	100,73
1,1	5,3	100,5
0,5	4,6	100,2
0	4	100

Tabla 7. Rango de temperatura de 0-15 °C en modelo de transmisor XU2 ⁷¹

En la Figura 66 se muestra la gráfica correspondiente a los datos de temperatura y corriente presentados en la Tabla 7.

⁷⁰ Imagen del autor

⁷¹ Tabla del autor

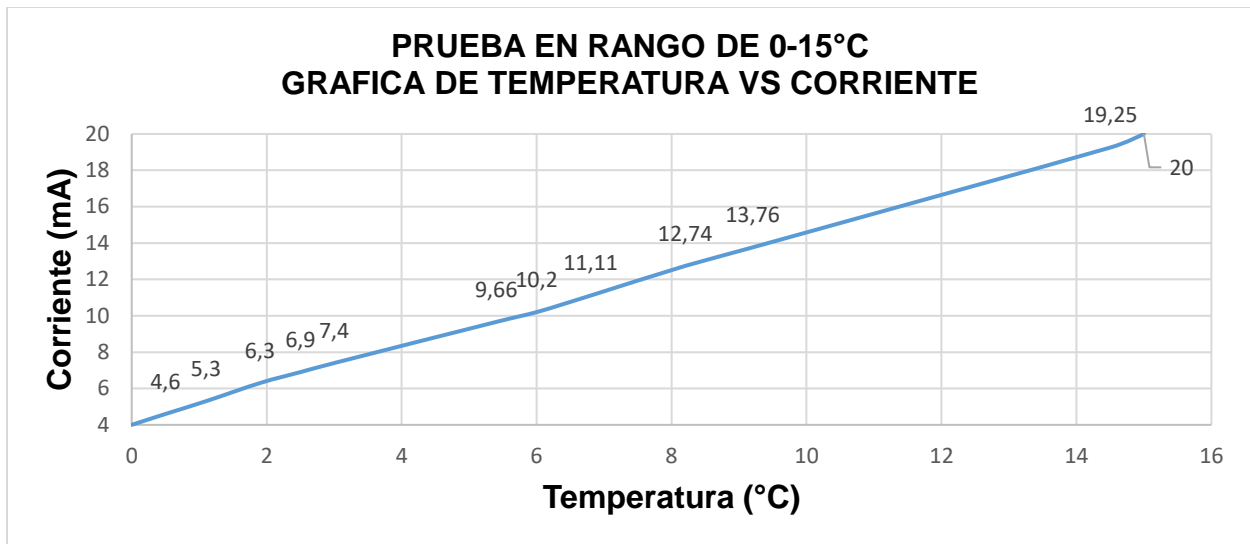


Figura 66. Temperatura vs corriente en rango de entrada 0-15°C en modelo XU2 ⁷²

En la Figura 67 se muestra la gráfica correspondiente a los datos de temperatura y resistencia presentados en la Tabla 7

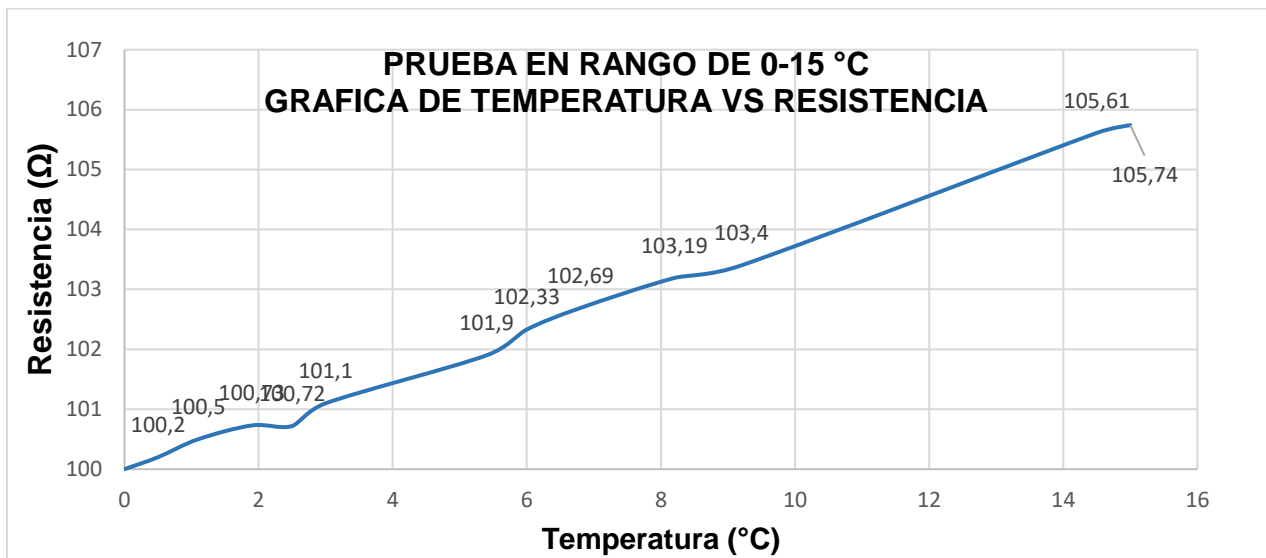


Figura 67. Temperatura vs resistencia en rango de entrada 0-15°C en modelo XU2 ⁷³

En el Anexo 3 se presentan las imágenes tomadas durante las pruebas de operación en donde se evidencian las respectivas conexiones y los diversos recipientes utilizados a diferente temperatura a la cual fue expuesta la RTD.

⁷² Imagen del autor

⁷³ Imagen del autor

3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Durante las pruebas de operación y parametrización se lograron captar valores de corriente y resistencia en diferentes puntos de temperatura los cuales fueron graficados. Los resultados presentados en las Figura 62, Figura 59, Figura 57 y Figura 55 mostraban a simple vista un comportamiento lineal creando una relación directa entre la temperatura y la corriente. No obstante, las gráficas presentadas en las Figura 66 y Figura 62 manifestaban una respuesta en donde la temperatura y la corriente no estaban totalmente sujetas haciendo que no se cumpliera el principio de superposición característico de un sistema lineal. Según los datos arrojados en las diferentes pruebas y el análisis del comportamiento mencionado la relación entre la temperatura Vs la corriente se puede considerar aproximadamente lineal pero una vez el transmisor de temperatura incorpora la señal de la RTD y la convierte al estándar 4-20 mA, este hace que la respuesta pase a ser completamente un sistema lineal.

En cuanto a los resultados de resistencia y temperatura graficados, el aumento de los valores de resistencia no es lineal, sin embargo, presentan un comportamiento ascendente a medida que la temperatura aumenta y descendente si esta disminuye. Para poder establecer la relación que existe entre la temperatura y la resistencia, se compararon los valores medidos de resistencia durante las pruebas con los valores de resistencia de la tabla de referencia internacional para RTD's (también conocida como la ITS-90), la cual se encuentra fundamentada en la normativa de la escala internacional de temperatura de 1990. La ITS-90 fue adoptada por el comité internacional de pesas y medidas con la finalidad de mejorar la exactitud al momento de medir la temperatura logrando que esta sea lo más próxima posible a los valores de temperatura termodinámica y que la relación entre temperatura y resistencia sea sencilla de interpretar (Creus A. , 2009). En la Tabla 3 se presentaron los resultados de los valores de resistencia de la prueba de operación del transmisor modelo XU2HN que comprendía un rango de entrada de 0-50 °C. Allí se observaron valores de resistencia que iban desde los 100 Ω hasta los 120 Ω en los diferentes intervalos de temperatura.

La Figura 68 muestra los valores de resistencia y temperatura asignados por la ITS-90. Los valores marcados en rojo pertenecen a los intervalos de temperatura a los cuales fueron sometidas las RTD's durante la prueba. En la se muestran los resultados correspondientes a la medición de la resistencia realizados en las pruebas experimentales y los datos de resistencia suministrados por la ITS-90. Al realizar la comparación se observa que los valores de resistencia medidos durante las pruebas de operación presentan una diferencia mínima con respecto al valor de resistencia de la normativa. De acuerdo con lo anterior, los valores de resistencia facilitan obtener la temperatura de un sistema y al mismo tiempo realizar un proceso de calibración del elemento con el cual se realiza la medición de una variable.

TEMPERATURA(°C)	RESISTENCIA (mA)	RESISTENCIA ITS-90(Ω)
50	120	119,4
40	116	115,54
30	112	111,67
20	108	107,79
10	104	103,9
5	102,5	101,95
0	100	100

Tabla 8 Valores de resistencia de prueba y de la ITS-90 ⁷⁴

°C	Ohms	Diff.	°C	Ohms	Diff.
0	100.00	0.39	+60	123.24	0.38
+1	100.39	0.39	61	123.62	0.38
2	100.78	0.39	62	124.01	0.39
3	101.17	0.39	63	124.39	0.38
4	101.56	0.39	64	124.77	0.38
5	101.95	0.39	65	125.17	0.40
6	102.34	0.39	66	125.55	0.38
7	102.73	0.39	67	125.93	0.38
8	103.12	0.39	68	126.32	0.39
9	103.51	0.39	69	126.70	0.38
10	103.90	0.39	70	127.08	0.38
11	104.29	0.39	71	127.46	0.38
12	104.68	0.39	72	127.85	0.39
13	105.07	0.39	73	128.23	0.38
14	105.46	0.39	74	128.61	0.38
15	105.85	0.39	75	128.99	0.38
16	106.24	0.39	76	129.38	0.39
17	106.63	0.39	77	129.76	0.38
18	107.02	0.39	78	130.14	0.38
19	107.40	0.38	79	130.52	0.38
20	107.79	0.39	80	130.90	0.38
21	108.18	0.39	81	131.28	0.38
22	108.57	0.39	82	131.67	0.39
23	108.96	0.39	83	132.05	0.38
24	109.35	0.39	84	132.43	0.38
25	109.73	0.38	85	132.81	0.38
26	110.12	0.39	86	133.19	0.38
27	110.51	0.39	87	133.57	0.38
28	110.90	0.39	88	133.95	0.38
29	111.28	0.38	89	134.33	0.38
30	111.67	0.39	90	134.71	0.38
31	112.06	0.39	91	135.09	0.38
32	112.45	0.39	92	135.47	0.38
33	112.83	0.38	93	135.85	0.38
34	113.22	0.39	94	136.23	0.38
35	113.61	0.39	95	136.61	0.38
36	113.99	0.38	96	136.99	0.38
37	114.38	0.39	97	137.37	0.38
38	114.77	0.39	98	137.75	0.38
39	115.15	0.38	99	138.13	0.38
40	115.54	0.39	100	138.51	0.38
41	115.93	0.39	101	138.89	0.38
42	116.31	0.38	102	139.27	0.38
43	116.70	0.39	103	139.65	0.38
44	117.08	0.38	104	140.03	0.38
45	117.47	0.39	105	140.39	0.36
46	117.85	0.38	106	140.77	0.38
47	118.24	0.39	107	141.15	0.38
48	118.62	0.38	108	141.53	0.38
49	119.01	0.39	109	141.91	0.38
50	119.40	0.39	110	142.29	0.38

Figura 68. Valores de temperatura y resistencia según la ITS-90 ⁷⁵

⁷⁴ Imagen del autor

⁷⁵ Imagen tomada de: <https://web.mst.edu/~cottrell/ME240/Resources/Temperature/RTD%20table.pdf> el 30/11/2020.

4 ACTUALIZACION DE GUIAS DE LABORATORIO

4.1 MODIFICACIÓN DE GUÍAS DE LABORATORIO CON LAS NUEVAS CONDICIONES DE OPERACIÓN

La reorganización del módulo de temperatura que se desarrolló con anterioridad y que fue descrito en el capítulo 2, permitió realizar modificaciones a algunas de las guías que se encuentran actualmente en el laboratorio. Para llevar a cabo este proceso se tuvo en cuenta el diseño del tablero y la distribución espacial de los elementos con los cuales se desarrollan las diferentes prácticas de temperatura, así como de los instrumentos que no presentaban un uso dentro de ellas y que fueron registrados en el inventario que se detalló anteriormente. El diseño del tablero de instrumentos permitió incorporar elementos como termómetros, los cuales fueron considerados e incluidos al momento de realizar las respectivas modificaciones.

A continuación, se describen las modificaciones realizadas a la guía correspondiente a la práctica de laboratorio con el baño húmedo.

- **Guía de baño húmedo.**

Esta guía utiliza como herramientas para su desarrollo el horno de calentamiento con sus termopozos, un termómetro bimetálico que posee un rango de temperatura entre los 0°C y 110°C, una RTDPt100 de 3 hilos y un óhmetro. Durante la practica por medio del horno de calentamiento se lleva el termostato al valor máximo de 150°C y se registran los valores de resistencia obtenidos con la RTDPt100 de 3 hilos que corresponden al rango de temperatura de 30°C a 80°C. La práctica busca establecer el comportamiento de la señal de salida de la RTDPt100 con respecto a los cambios de temperatura graficando los resultados obtenidos y de esta manera evaluar la repetibilidad y la histéresis. Partiendo del nuevo diseño del módulo de temperatura se logró integrar el termómetro bimetálico de rango de 0°C a 250 °C a la práctica, el cual se encontraba junto con otros elementos en una zona donde no tenían un uso. Este termómetro se incorporó de tal manera que su ubicación permitiera un fácil acceso junto con los demás elementos del tablero. Al ser añadido a la práctica, se estableció tomar los valores de la resistencia correspondientes a un rango de temperatura entre 75°C a 150 °C, graficando los valores de temperatura tanto para el ascenso como el descenso y de esta manera realizar una comparación entre los dos termómetros e introducir el concepto de precisión a la práctica. En el Anexo 4 se encuentra la guía con las modificaciones realizadas. La guía modificada fue tomada del proyecto de (Herrera & quintero, 2013) el cual fue presentado bajo la dirección del mismo director del presente proyecto.

A su vez, el nuevo diseño permitió incorporar los transmisores de temperatura XU2HN y los XU2 al tablero de instrumentos el cual facilitó la creación y desarrollo de una nueva guía de laboratorio que será explicada en el siguiente ítem.

4.2 DESARROLLO DE GUÍA DE LABORATORIO PARA EL PROCESO DE CONFIGURACIÓN DE TRANSMISORES EN LAZO DE CONTROL ESTANDARIZADO.

A continuación, se presenta un resumen del contenido de la guía de laboratorio que fue desarrollada para la implementación de los transmisores de temperatura programables.

Como procedimiento principal, se tiene la construcción del montaje de lazo de corriente de 4-20 mA con los sensores correspondientes a la práctica que en este caso son RTDPt100. En la guía se presentan esquemas en los cuales se observa detalladamente la manera correcta de realizar las conexiones. El montaje para el transmisor de temperatura de modelo XU2HN hace uso de una RTDPt100 de 3 hilos, que junto con el transmisor permitirán obtener los valores de corriente arrojados por el software y el amperímetro para los diferentes valores de temperatura dentro del rango de 0°C a 100°C, los cuales se obtienen del elemento a medir que es el Horno metrológico también conocido como baño seco.

El procedimiento correspondiente al transmisor XU2 es muy similar descrito anteriormente, sin embargo, este difiere al momento de implementar los sensores ya que para esta sección de la práctica se utilizarán dos RTDPt100 de 3 hilos. Adicionalmente, se hará uso de un multímetro el cual medirá los valores de resistencia de la segunda RTD implementada.

Una vez realizados los montajes descritos, se deben llevar a cabo las configuraciones correspondientes al tipo de entrada y rango de medición de temperatura, para posteriormente iniciar con el desarrollo de la práctica. Los datos obtenidos con los transmisores XU2HN y XU2 serán registrados en tablas para posteriormente realizar una comparación entre estos y los valores proporcionados por la ITS-90 para RTD's. Lo anterior con la finalidad de realizar un análisis de la relación entre las variables de resistencia, corriente y temperatura obtenidas, así como el análisis de las posibles fuentes de error durante la práctica y su efecto en los resultados.

La guía de laboratorio completa se puede observar en el Anexo 5.

4.3 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

En el presente ítem se muestra el cálculo de los costos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del proyecto el cual incluye valores de los elementos ya existentes junto con los gastos que se presentaron a lo largo de su elaboración.

CONCEPTO	COSTO
Instrumentación del módulo de Temperatura**	110,000,000
Estructura de proceso**	3,000,000
Computador 1**	2,500,000
Software**	1,000,000
Transporte*	100,000
Imprevistos*	200,000
TOTAL	116,700,000

**conceptos financiados por la UPB.

* Conceptos financiados por el estudiante.

RECOMENDACIONES

Para implementar a futuro el diseño del tablero planteado se recomienda reutilizar y adaptar la estructura metálica base que se encuentra en el laboratorio de acuerdo con el diseño propuesto en este proyecto.

Para la manipulación y utilización de los instrumentos que hacen parte del módulo de temperatura es necesario tener la asesoría de personal que cuente con amplios conocimientos con respecto al manejo, calibración y verificación de los equipos. Al hacer la calibración de los equipos, se deben utilizar exclusivamente los instrumentos que se encuentran certificados para llevar a cabo estos procesos. Lo anterior es con el fin de evitar averías en los instrumentos y accidentes que pongan en riesgo a los usuarios.

El estado de los sensores de temperatura se debe validar antes de realizar cualquier tipo de conexión. Así mismo, estos deben ser manipulados y almacenados de tal forma que los cables no sean enrollados, pues los conductores al estar hechos de materiales como cobre y platino podrían romperse fácilmente haciendo que el circuito quede abierto y las mediciones arrojen valores erróneos.

Antes de realizar cualquier practica de temperatura es necesario comprobar que las conexiones propuestas en las guías se encuentran hechas de manera correcta. Al momento de conectar los transmisores de temperatura es necesario asegurarse que la configuración del rango de entrada es el indicado, se debe revisar y observar las advertencias sobre la polaridad que son sugeridas por el software una vez se crea la comunicación entre el ordenador y el transmisor. Es recomendable que previo a tomar los valores de corriente de los transmisores para rangos de temperatura bajos, los sensores permanezcan quietos por más tiempo y luego se lleve a cabo la medición.

Finalmente, el mantenimiento de los equipos e instrumentos que forman parte del módulo de temperatura se debe realizar anualmente. Lo anterior incluye la limpieza y cambio de piezas (fusibles, cables, conectores entre otros).

CONCLUSIONES

Se realizó la distribución de los elementos e instrumentos que hacían parte del módulo de temperatura diseñando un tablero de instrumentos que cumpliera con las características de una estructura estable y versátil, teniendo en cuenta que al momento en que la universidad adquiera equipos adicionales estos puedan ser incorporados sin presentar mayor dificultad. A su vez, la ubicación del tablero de instrumentos y demás elementos se llevó a cabo con el fin de facilitar los procesos de calibración y verificación de los diferentes equipos de manera sencilla y rápida.

El proyecto presentó la implementación de transmisores de temperatura para lazos de control estandarizados por medio de un proceso de configuración. Para ello, se realizó el montaje de un circuito de lazo de corriente tipo serie, el cual facilita la detección de fallas que se puedan presentar durante un proceso de control. De esta manera, la configuración de los transmisores de temperatura se realizó haciendo uso de los modelos XU2HN y XU2, los cuales incorporan el uso del software XU Setup que fue instalado y previamente verificado. Durante el desarrollo se llevaron a cabo una serie de pruebas que permitieron analizar y comprobar que la configuración de un transmisor de temperatura en un lazo de corriente estandarizado permite obtener respuestas totalmente lineales. Así mismo, el proyecto incluyó las actividades realizadas tanto del fabricante como del usuario final de los transmisores, en donde el fabricante realiza la programación del transmisor creando la acción que permite indicarle a este el rango de temperatura en el cual debe trabajar y el usuario quien interpreta e implementa dicha acción.

La reorganización del módulo de temperatura contribuyó a complementar las actuales guías de laboratorio, agregando a éstas nuevos elementos. Así mismo, se desarrolló una nueva guía que fuera incluida dentro de las prácticas de temperatura, con la cual será posible analizar la relación que existe entre la temperatura, la corriente, resistencia y la función que un transmisor de temperatura tipo programable puede llegar a tener para un lazo de control estandarizado.

Finalmente, si bien la actualización y el desarrollo de las guías se basó en el diseño del nuevo módulo de temperatura, esto no implica que las prácticas no puedan ser llevadas a cabo sin la implementación de éste, pues el nuevo diseño busca aprovechar los espacios y mejorar las condiciones de operación actuales optimizando al máximo los recursos disponibles. Dicho lo anterior, se estaría a la espera de una aprobación por parte de la universidad para llevar a cabo la construcción e implementación del nuevo módulo de temperatura.

BIBLIOGRAFIA

1. Alzate Rodríguez, E. J. (2007). Medición de temperatura: sensores termoelectricos. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84934001>.
2. ARANDA, D. (2014). Electronica: conceptos basicos y diseño de circuitos. Buenos Aires: DALAGA.
3. Aranda, D. (2014). ELECTRONICA: TECNICAS DIGITALES Y MICROCONTROLADORES. Buenos Aires: DALAGA S.A.
4. Barragán Izurieta, J. C. (2003). Diseño y construcción de un transmisor de temperatura para termocuplas tipo K. Quito, Ecuador.
5. Barragan, A. L. (2007). Fisica para Bachillerato . Pearson.
6. Barreira, J. B. (2006). Mantenimiento correctivo de eletrodomesticos de gama blanca. Barcelona: Editorial Elearning S.L.
7. Bollain, M. S. (2018). Ingeniería de instrumentación de plantas de proceso. Madrid España: Ediciones Diaz de santos.
8. COPETE, L. M. (1992). CONTROL E INSTRUMENTACION. medellin: U.P.B.
9. Creus, A. (2009). INSTRUMENTOS INDUSTRIALES SU AJUSTE Y CALIBRACION. Barcelona: MARCOMBO.
10. CREUS, A. (2010). INSTRUMENTACION INDUSTRIAL. Barcelona: marcombo.
11. Delgado Bueno, S., & Tejerina, A. (2002). Medicina Legal en Patologia Mamaria. MADRID,ESPAÑA: Ediciones Diaz de Santos S.A.
12. Diaz, J. R. (2007). Asegurmiento Metrologico. Medellin: iTM.
13. Esquivel, A. E. (2014). Metrología y sus Aplicaciones. Azcapotzalco: Patria.
14. Feinstein, A., & Tignanelli, H. (2005). Objetivo: Universo, Astronomia. Curso completo de actualizacion. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Colihue S.R.L.
15. FLUKE. (2007). Fluke Hart Scientific. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-co/producto/herramientas-de-calibracion/calibradores-de-temperatura/fluke-calibration-9142>
16. Fuertes Paucar, Y. G. (2017). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO EDUCATIVO. lima.
17. Garcia, M. A. (2014). INSTRUMENTACION ELECTRONICA. Madrid: Ediciones Paraninfo.

18. Golcanvez, E. (2014). Sensores y Transmisores Analogicos. Instrumentacion y Control Industrial (pág. 10). Maturin: Universidad del Oriente.
19. Gonzales, V. L. (2017). Puesta en servicio y operacion de instalacione solares Termicas. Màlaga: IC Editorial.
20. Harper, G. E. (2003). EL ABC DEL CONTROL ELECTRONICO DE LAS MAQUINAS ELECTRICAS. Mexico: NORIEGA EDITORES.
21. IGER. (2010). FISICA FUNDAMENTAL, SEGUNDO SEMESTRE. Ciudad de Guatemala: ZACULEO.
22. Instrumatic. (2020). Instrumactic. Obtenido de <https://instrumatic.com.co/producto/serie-xu/>
23. INSTRUMENTS, T. (Agosto de 1999). Obtenido de <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf?HQS=TI-null-null-alldatasheets-df-pf-SEP-wwe>
24. Lema, J. C. (2012). Módulo didáctico para control y monitoreo de 3 variables nivel, temperatura, presión, implementado con sensores, PLC Flexlogix y cada factory talk (Allen Bradley). Guayaquil.
25. Meléndez, J., Briones, M., Aragón, W. V., Cruz, J., & García, C. G. (2011). Transmisor indicador de temperatura (TIT) con Interfaz para LABVIEW. Puerto vallarta, Jalisco.: 10° Congreso Nacional de Mecatronica.
26. MIRONOV, V. (1977). CURSO DE PROSPECCION GRAVIMETRICA. Barcelona: REVERTÈ.
27. ORTIZ, M. L., & VASQUEZ, O. J. (2008). MPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA EN TIEMPO REAL UTILIZANDO LA HERRAMIENTA xPC-Target DE MATLAB®. Bucaramanga, Colombia.
28. Pena, A. G., & Londoño, G. M. (2007). Introduccion de Errores en la Medicion. Medellin, Colombia: Fondo Editorial ITM.
29. Picado, A. B., & Alvarez, M. (2008). QUÌMICA I INTRODUCCIÒN AL ESTUDIO DE LA MATERIA. San Jose, Costa Rica: EDITORIAL UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA .
30. Pinzás, A. R., & Lizama, E. R. (2011). Diseño e implementación de un software. Revista de la Facultad de Ingeniería Industria, 42-46.
31. Piñeiro, M. M. (2000). Metrologia: Introduccion, Conceptos e Instrumentacion. Oviedo: Universidad de Oviedo.
32. Porto, J. P., & Gardey, A. (2009). DEFINICION DE MODULO. Obtenido de Definicion.de: <https://definicion.de/modulo/>

33. Priwer, S., & Phillips, C. (2005). Todo sobre Einstein. Barcelona, España: Ediciones RobinBook.
34. Ramos, S. R. (2012). Instrumentación y control de instalación de procesos, energía y servicios auxiliares. IC Editorial (Innovación y Cualificación Editorial).
35. Rolle, K. C. (2006). TERMODINÁMICA SEXTA EDICIÓN. Ciudad de México: PEARSON.
36. S.A.U, I. W. (03 de 2018). WIKA. Obtenido de https://www.wika.es/upload/DS_TE1501_es_es_90455.pdf
37. S.A.U, I. W. (01 de 2019). WIKA. Obtenido de https://www.wika.co/upload/DS_TE6201_es_es_82634.pdf
38. Sacoto, G., & Patricio, D. (2012). Diseño e implementación de un módulo didáctico para control de nivel, temperatura y caudal mediante la red de comunicación de campo DEVICENET. SANGOLQUÍ, Ecuador.
39. Sanchez, J. A. (2006). Instrumentación y Control avanzado de procesos. puertollano: ediciones Diaz de Santos.
40. Sanchez, M. B. (2018). Ingeniería de instrumentación de plantas de proceso . Diaz Santos.
41. Sarmiento, P. (2007). Energía solar en arquitectura y construcción. Santiago de Chile: RIL editores.
42. Serrano, A. (2020). [www.siemens.com](https://new.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/temperature-measurement/sitrans-th300.html). Obtenido de <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/temperature-measurement/sitrans-th300.html>
43. Smith, R. N. (1991). RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE QUÍMICA GENERAL. Barcelona: REVERTÈ.
44. Sobrino, J. A. (2000). Teledetección . Valencia, España: Ediciones AECI.
45. Sokal, R. R. (2002). Serie de Biología Fundamental. Introducción a la Bioestadística. San Francisco, USA: Editorial Revertè.
46. Solè, A. C. (2010). Instrumentación Industrial, Octava edición. México D.F: Grupo Alfaomega.
47. Torres Santos, E. R., & Vásquez Galarza, C. V. (2002). Construcción de un módulo didáctico de control de temperatura mediante PLC. Quito, Ecuador.
48. Valcarcel, M. (1995). La Calidad En Los Laboratorios Analíticos. Barcelona: Reverte.

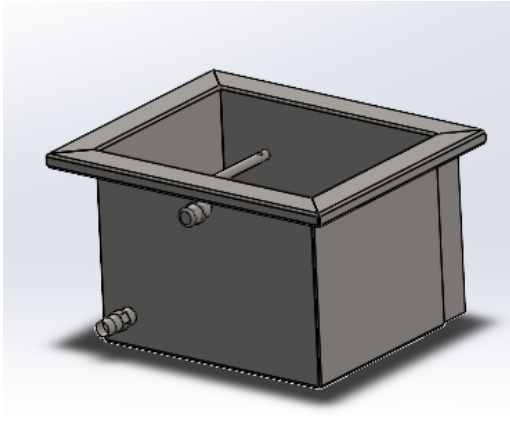
49. Viñan Velasco, C. A., & Alvarado Bajaña, R. D. (2018). Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura y nivel de agua en la planta de llenado de tanques del laboratorio de automatización industrial utilizando un algoritmo PID. Guayaqui, Ecuador.
50. Watethem, J., & Sternheim, K. M. (1989). FISICA. Barcelona, ESPAÑA: EDITORIAL REVERTÈ.
51. Weston, C. G., & Higuera, P. S. (2011). Transfeencia de calor, masa y momentum. Casos de estudio. Santiago de Chile: ediciones universidad catolica de Chile.

ANEXOS

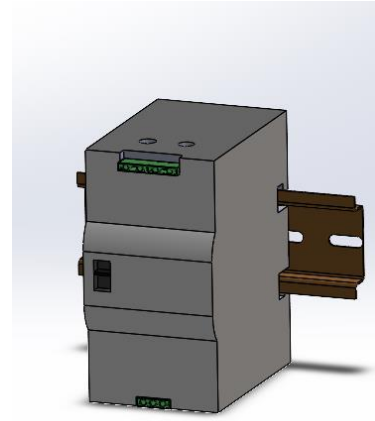
Anexo 1. Inventario de instrumentos de temperatura disponibles en el laboratorio de instrumentación de la UPB seccional Bucaramanga.

CANTIDAD	INSTRUMENTO	ELEMENTOS ADICIONALES
1	Transmisor Programable XU2-USB	Cable USB Manual CD
1	Trasmisor programable (XU2HN Head mount Non-Isolated transmittter)	Manual Adaptador Sensor CD
1	Transmisores SIEMENS SITRANS TH300	
5	Termistores o termocuplas	
1	Fuente de voltaje	
2	Termómetro de caratula con rangos de: • 0 a 250 grados • 0 a 110 grados	
1	Pirómetro óptico UT300 SERIES	
3	Insertos	
5	Acoples de goma para inserto	
3	Bastones de acople	
2	Sensor transmisor con cabezal	
1	Pozo metrológico o baño seco FLUKE 91-42	
1	Rts metter	
2	Multímetros digitales	
	RTD'S	2 hilos= 9 unidades 3 hilos= 16 unidades
1	Cámara termográfica	
	Cable para RTD	
1	Multímetro referencia MT4W-DA-4N	
1	Voltímetro referencia MT4W-DA-4N	
1	Indicador de temperatura referencia MT4W-DA-4N	
1	Cámara termográfica de marca FLUKE TI10	

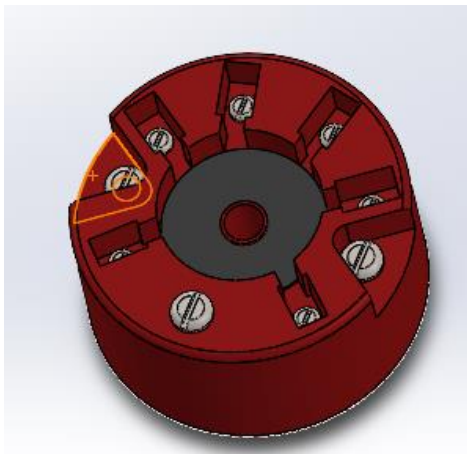
Anexo 2. Modelado mecánico de los instrumentos y elementos que conforman el nuevo diseño módulo de temperatura.



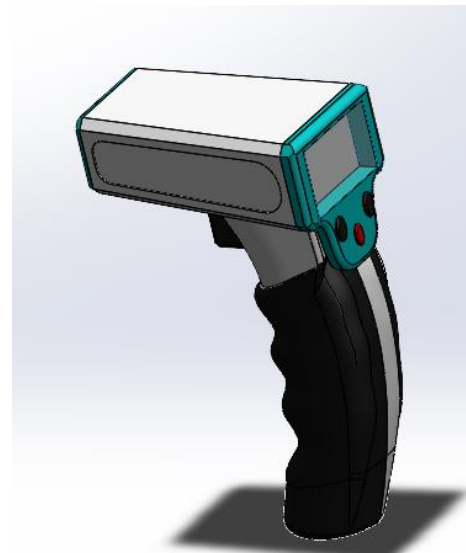
Baño húmedo



Fuente de voltaje



Transmisor de temperatura montaje cabeza



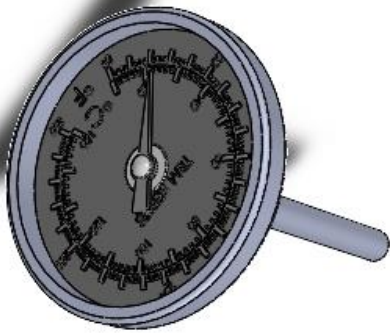
Cámara termográfica



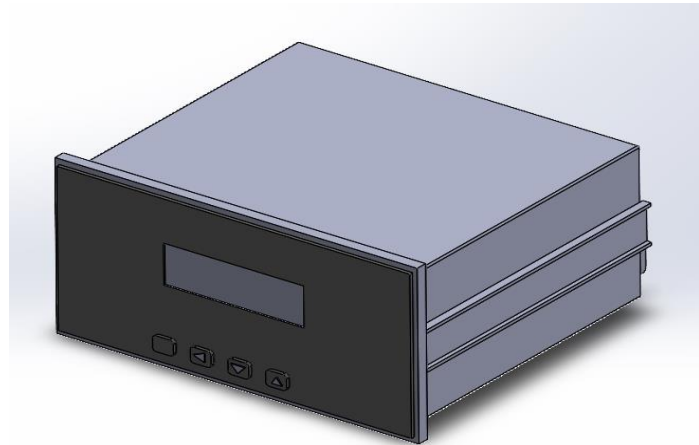
Adaptador con cabezal



Multimetro



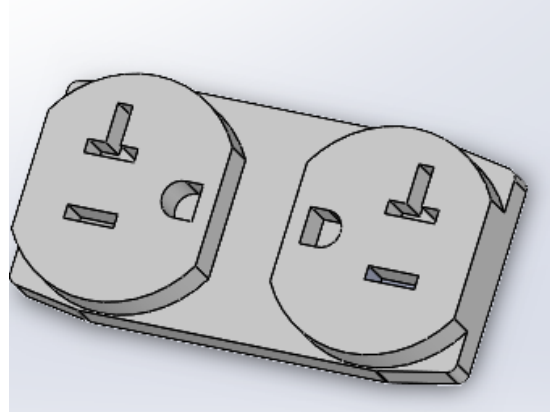
Termometro Bimetálico



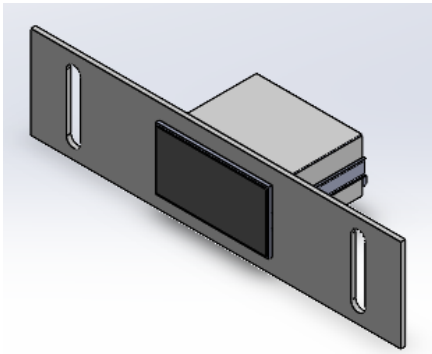
Pantalla amperimetro digital



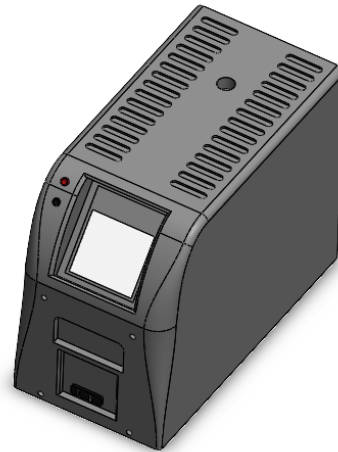
Pirometro optico



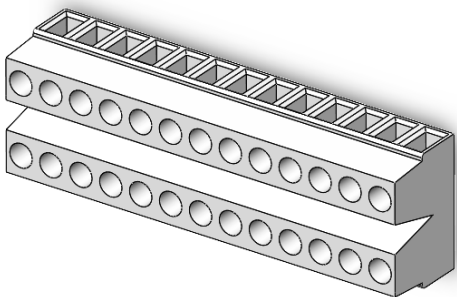
Enchufe conector



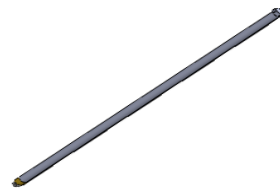
Pantalla Indicador de temperatura



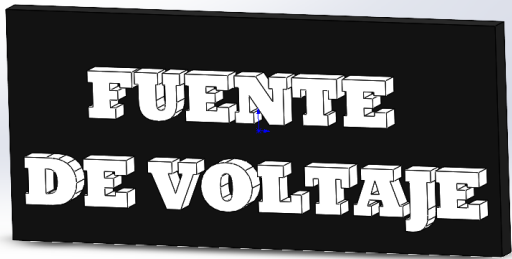
Baño metrologico FLUKE



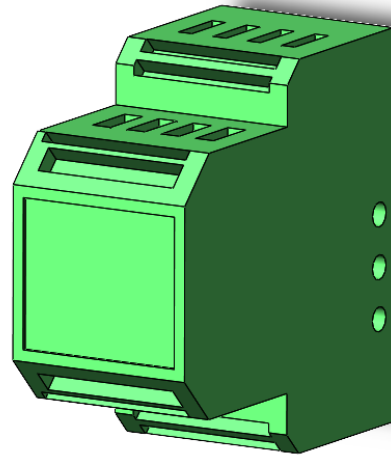
Bornera



RTD



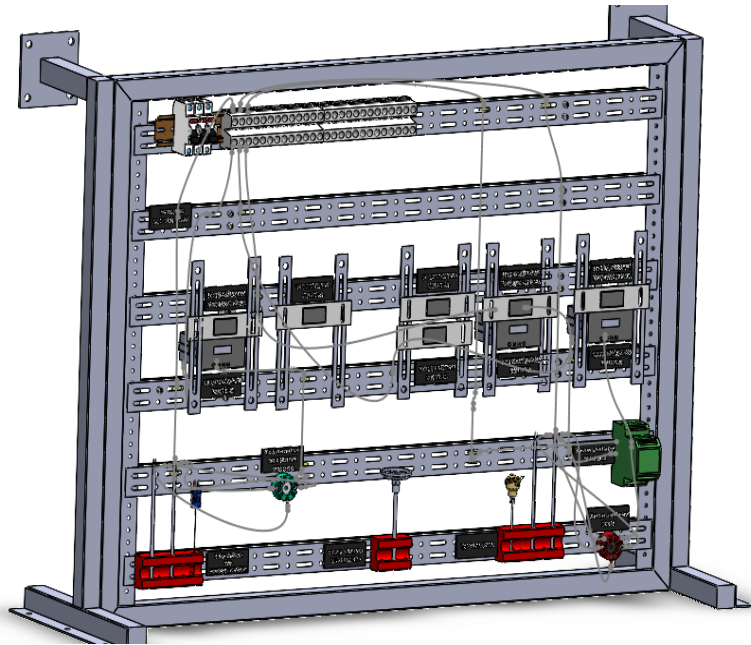
Indicador de Texto



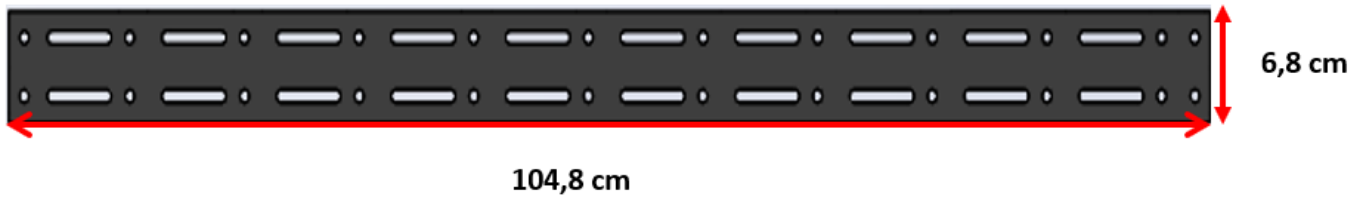
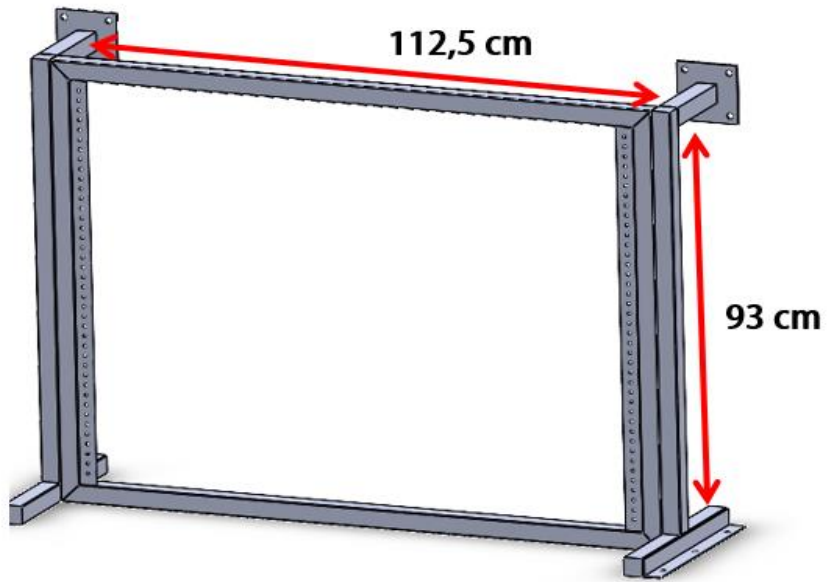
Transmisor XU2



Termopar



Ensamble del tablero de instrumen



4,8 cm

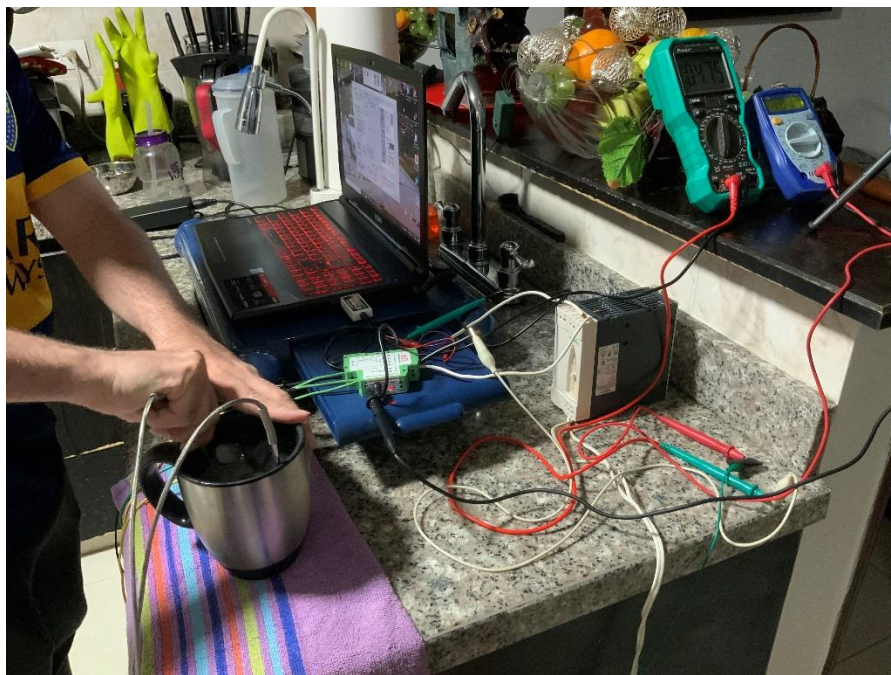
0,8 cm

**Diámetro de los
agujeros: 0,8 cm**

Anexo 3. Imágenes de las pruebas de parametrización y operación de los transmisores de temperatura.



Prueba de operación a temperaturas de 0°C con transmisor XU2



Prueba de operación a temperaturas de 0°C con transmisor XU2



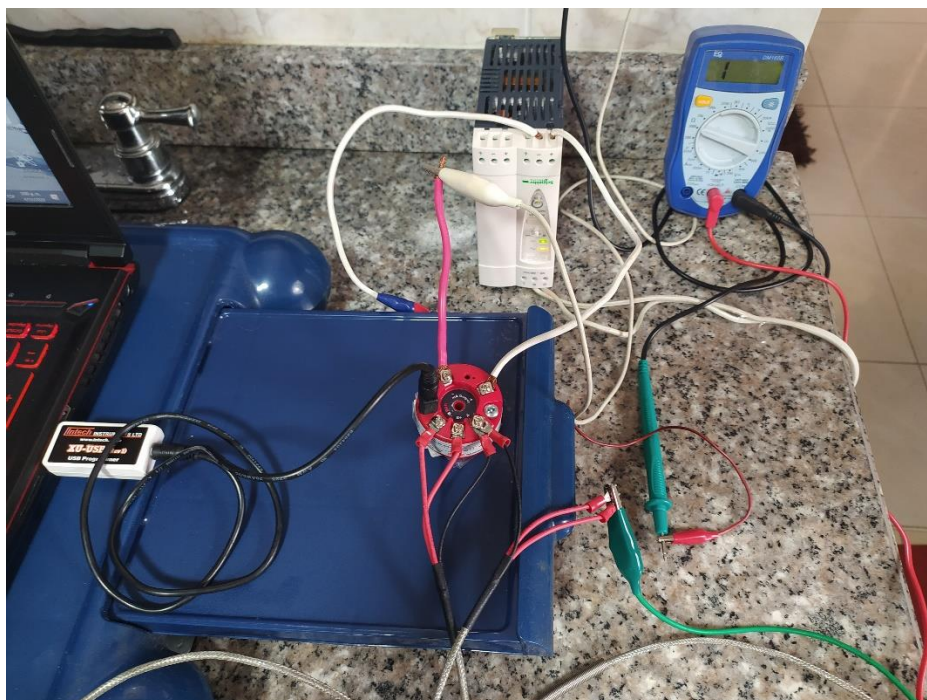
Prueba de operación a temperaturas de 85 °C con transmisor XU2



Prueba de operación a temperaturas de 85 °C con transmisor XU2



Montaje y pruebas de operación con transmisor XU2HN



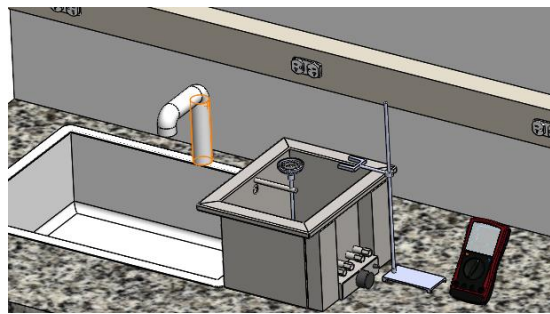
Montaje y pruebas de operación con transmisor XU2HN

Anexo 4 Guía actualizada- Baño húmedo.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA - SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MEDICIONES MECÁNICAS
Guía realizada por Mayra Alejandra Vargas Cetina- Carlos Andrés Estupiñán
Blanco con la asesoría del docente Juan Carlos Mantilla Saavedra

MODULO DE TEMPERATURA – BAÑO DE AGUA.

- **Objetivo.** Evaluar la operación, la Histéresis y la Repetibilidad de un sensor de temperatura tipo RTDpt100 de 3 Hilos.
- **Procedimiento.**
 - a. Identificar el horno de calentamiento de agua que se muestra en la figura

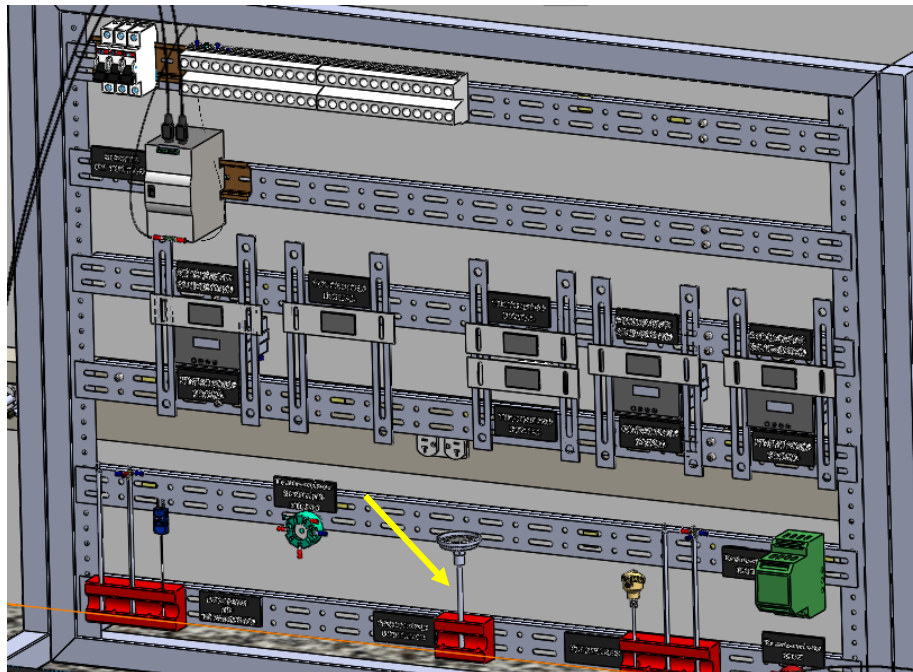


y sus termopozos, la resistencia de calentamiento, el termómetro mecánico tipo bimetálico, el sensor de temperatura RTDpt100 de 3 hilos y el termóstato para control de temperatura tipo ON/OFF.

- b. Cierre la válvula de bola que se encuentra en la parte trasera del tanque y llene el mismo con agua a temperatura ambiente, hasta que el nivel del fluido sobrepase los termopozos.
- c. Ubique el termómetro bimetálico de tal forma que su termopozo quede sumergido hasta las marcas en forma de punto en su cuerpo.
- d. Instale la RTDpt100 lo más cerca posible al termómetro bimetálico. Con un óhmetro establezca la lectura de la señal de salida de la RTDpt100.
- e. Se construirán dos (2) curvas de ascenso-descenso de la temperatura de la RTDpt100, registrando la **Temperatura (Termómetro Bimetálico) Vs Resistencia de la RTDpt100 (Óhmetro)**, para el rango de **30°C a 80°C**, cada 2°C (Ver Tabla 1). Para esto, ajuste el termóstato al máximo (150°C), iniciando el calentamiento; y una vez en 80°C, ajuste el termóstato en OFF y desocupe el tanque a través de la válvula de bola trasera, para

registrar la temperatura de descenso hasta 30°C. Llene nuevamente el tanque con agua a temperatura ambiente y repita el procedimiento para obtener la segunda curva de ascenso-descenso.

- f. Se construirán dos (2) curvas de ascenso-descenso de la temperatura de la RTDpt100, registrando la **Temperatura (Termómetro Bimetalico) Vs Resistencia de la RTDpt100 (Óhmetro)**, Para el rango de **75°C a 150°C**, cada 5 °C (Ver Tabla 2). Intercambie el termómetro bimetalico el cual posee un rango de temperatura de 0-110°C y que se encuentra en el horno de calentamiento por el termómetro bimetalico que se encuentra en el tablero de instrumentos como se observa en la figura y que presenta un rango de temperatura de 0-250 °C.



Para esto, ajuste el termóstato al máximo (150°C), iniciando el calentamiento; y una vez en 150°C, ajuste el termóstato en OFF y desocupe el tanque a través de la válvula de bola trasera, para registrar la temperatura de descenso hasta 75°C. Llene nuevamente el tanque con agua a temperatura ambiente y repita el procedimiento para obtener la segunda curva de ascenso-descenso.

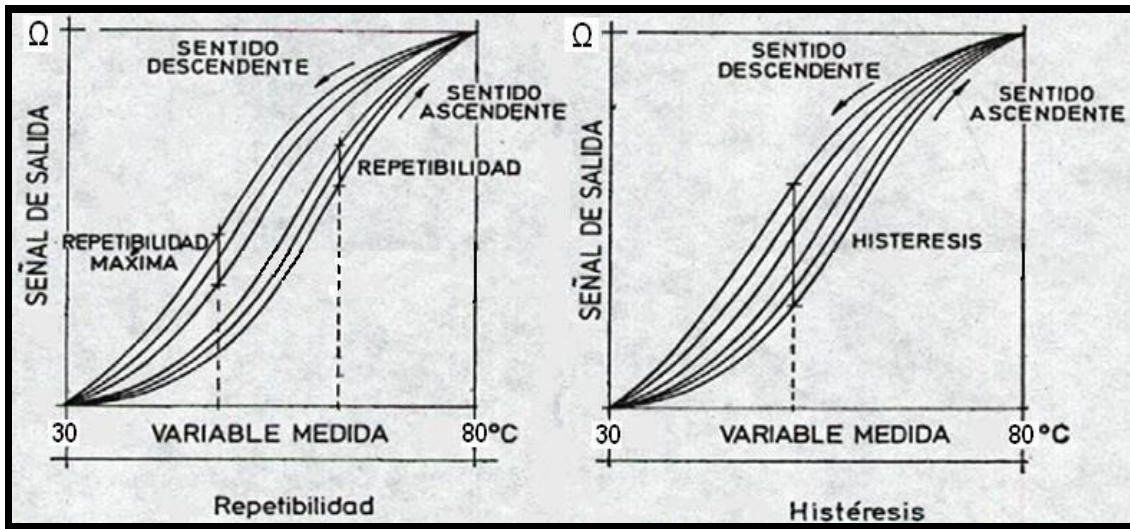


Tabla 1. Datos de Ascenso-Descenso de la Temperatura.

Termómetro Bimetálico	RTDpt100 de 3 Hilos	
	Temperatura (°C)	Curva Ascenso-Descenso 1 (Ω)
30		
32		
34		
36		
38		
40		
42		
44		
46		
48		
50		
52		
54		
56		
58		
60		
62		
64		
66		
68		
70		
72		

74		
76		
78		
80		
78		
76		
74		
72		
70		
68		
66		
64		
62		
60		
58		
56		
54		
52		
50		
48		
46		
44		
42		
40		
38		
36		
34		
32		
30		

Tabla 2. Datos de Ascenso-Descenso de la Temperatura termómetro bimetalico en rango de 0 °C a 250 °C.

Termómetro Bimetálico rango de 0°C a 250°C	RTDpt100 de 3 Hilos	
Temperatura (°C)	Curva Ascenso-Descenso 1 (Ω)	Curva Ascenso-Descenso 2 (Ω)
75		
80		
85		
90		
95		
100		
105		
110		
115		
120		
125		
130		
135		
140		
145		
150		
145		
140		
135		
130		
125		
120		
115		
110		
105		
100		
95		
90		
85		
80		
75		

- **Resultados.**

- En una misma gráfica muestre las 2 curvas de ascenso-descenso para cada termómetro, y a partir de estas determine la máxima histéresis y repetibilidad de la RTDpt100.
- Compare los resultados graficados de ambos termómetros e identifique cual presenta mayor precisión ¿por qué? ¿de qué depende la precisión en un instrumento de medición?
- Teniendo en cuenta las fuentes de error del experimento, compare los datos obtenidos, con los registrados en la Tabla 3. ¿Está la RTDpt100 en buen estado para prestar servicio? (¿Sí? ¿No? ¿Depende?) ¿Por qué?
- Conclusiones y Recomendaciones.

TABLA 3 - Valores de resistencia según la temperatura en °C para las sondas de resistencia Pt 100 con coeficiente de variación de resistencia 0,00385 según DIN 43.760 (IPTS-68)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<i>Resistencia en ohmios</i>									
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69
120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45
130	149.83	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140	153.58	153.95	154.33	154.70	155.08	155.45	155.83	156.20	156.57	156.95
150	157.32	157.69	158.07	158.44	158.81	159.19	159.56	159.93	160.30	160.68

BIBLIOGRAFIA

- Creus Solé, Antonio. Instrumentación Industrial. Octava Edición. Barcelona, España. Editorial Alfaomega Marcombo. 2011. ISBN 84-267-1361-5.
- Pallas Areny, Ramón. Sensores y Acondicionamiento de Señal. Editorial Alfaomega Marcombo. Tercera Edición.
- Frederick A. Meier, Clifford A. Meier. Instrumentation and Control Systems Documentation. ISA.
- Béla G. Lipták. Instrument Engineers' Handbook - Process Measurement and Analysis. Cuarta Edición. ISA.

Anexo 5. Guía para el proceso de configuración de transmisores para lazo de control estandarizado.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA - SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MEDICIONES MECÁNICAS
Guía realizada por Mayra Alejandra Vargas Cetina- Carlos Andrés Estupiñán
Blanco con la asesoría del docente Juan Carlos Mantilla Saavedra

CONFIGURACIÓN DE UN TRANSMISOR DE TEMPERATURA.

- **Objetivo:** Desarrollar el proceso de configuración de transmisores de temperatura para lazo de control estandarizado.

- **Procedimiento**
 - a. Conocer e identificar los comandos para realizar las configuraciones del software XU Setup.

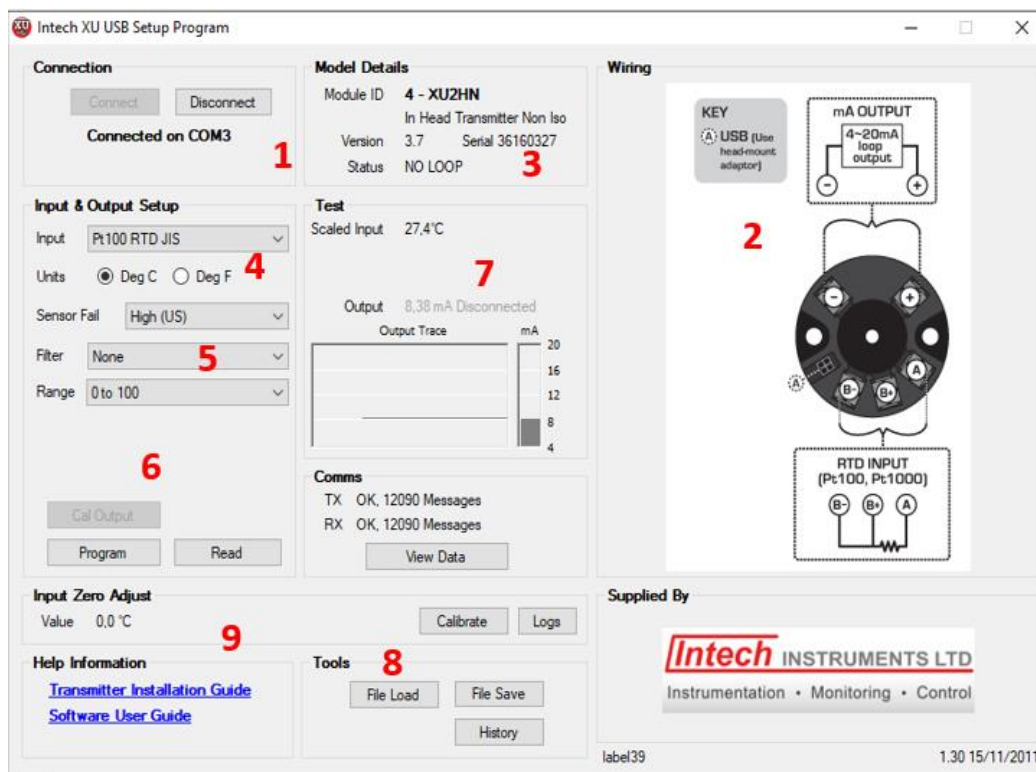


Figura 1 Interfaz del software.


1. Panel de conexión.
 2. Interfaz del diagrama de conexiones
 3. Interfaz que indica el modelo y el estado del transmisor Comando de conexión
 4. Configuración para el tipo de entrada (input) y unidades de medida (Celsius o Fahrenheit)
 5. configuración de rango de entrada.
 6. Comando para programar el transmisor.
 7. Interfaz que indica los valores de entrada y salida del sensor.
 8. Interfaz de herramientas para guardar, cargar configuraciones realizadas.
 9. Interfaz de ayuda e información.
- b. Conecte el transmisor de temperatura de modelo XU2HN como se muestra en la figura 2 por medio del programador XU-USB al computador. Ejecute el programa que se encuentra en el escritorio como  (XU Setup). Haga clic sobre el comando 'connect' que se muestra en la interfaz del software de la figura 1 identificado con el numero (1) y espere unos minutos mientras el sistema lee el modelo conectado.



Figura 2 conexión XU-USB Modelo de transmisor XU2HN.

- c. Para medir la temperatura conecte una RTD Pt100 de 3 hilos a los terminales del transmisor identificados con las letras 'A', 'B+', 'B-'. Tenga en cuenta que los dos hilos del mismo color deberán ir conectados a los terminales 'B+' y 'B-'. Verifique que el transmisor presenta las conexiones que se indican en la figura 3.

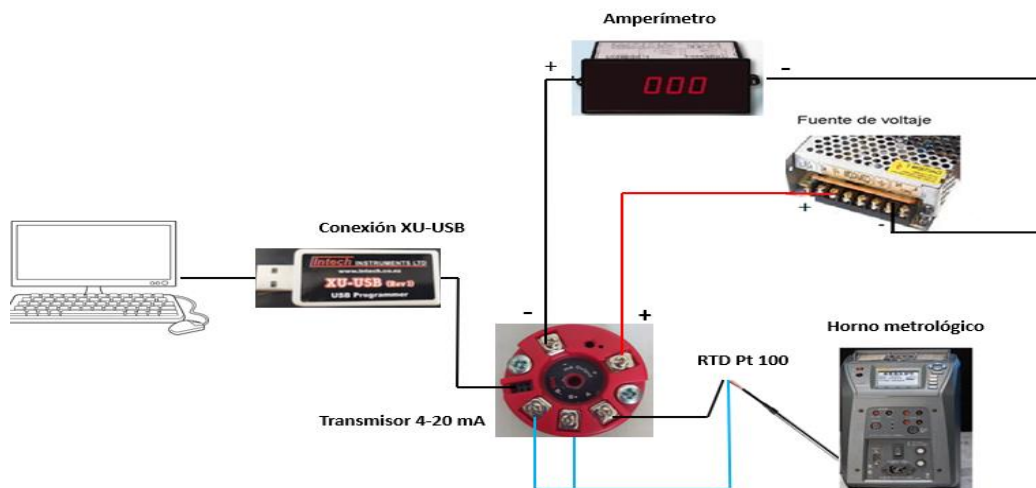


Figura 3 Diagrama de conexiones de lazo de corriente 4-20 mA modelo XU2HN.

- d. Active la fuente de voltaje que se encuentra en el tablero de instrumentos. Para corroborar que el lazo de corriente 4-20 mA se encuentra conectado de manera satisfactoria revise en la interfaz que indica el modelo y el estado del transmisor que aparezca: Status OK. como se muestra en la figura 4.
En caso de que aparezca: Status NO LOOP haga clic en Disconnect, verifique las conexiones y realice nuevamente los pasos de los ítems anteriores.

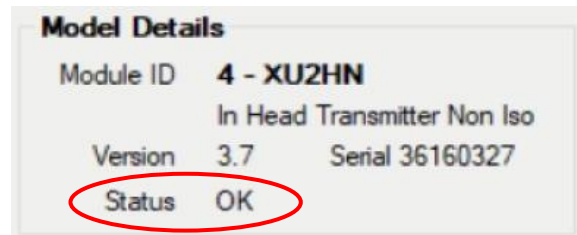


Figura 4 Verificación de estado

- e. Configure el tipo de entrada haciendo clic en 'input' (ver en la Figura 1 el numeral 4) luego despliegue la lista de opciones y elija la que tiene el nombre de 'Pt 100 RTD JIS'. Seleccione en 'Units' la opción 'Deg C' para medir la temperatura en unidades de Celsius.
- f. Realice la configuración del rango de entrada desplegando en el comando 'Range' la opción de **0 to 100**. (ver en la Figura 1 el numeral 5). Así a 0°C el amperímetro mostrará 4mA y a 100°C mostrará 20 mA. Modifique el SET POINT del baño seco a 0°C. Para editar el SET POINT realice los siguientes pasos:
- Presione la tecla SET POINT (SET PT) y la tecla ENTER.
 - Por medio de las teclas flechas ▲▼◀▶ seleccione el valor deseado, y confirme la elección presionando 2 veces la tecla ENTER. Realice el mismo procedimiento para configurar la temperatura en los siguientes ciclos.
 - Una vez finalizada la práctica presione SET POINT (SET PT) y luego F4 para retornar a la temperatura ambiente.
- g. Programe el transmisor haciendo clic en la opción 'Program' (ver en la Figura 1 el numeral 6).
- h. Registre en la Tabla 1 el valor de la corriente que muestra la pantalla del software y el valor de corriente que muestra el amperímetro. Finalmente apague la fuente de voltaje y haga clic en 'Disconnect'(ver en la Figura 1 el numeral 1).
- i. Construya (2) graficas diferentes con los valores de corriente registrados (Temperatura Vs la corriente del software y Temperatura Vs la corriente del amperímetro).

- **TRANSMISOR MODELO XU2.**

- j. Conecte el transmisor de temperatura de modelo XU2 como se muestra en la Figura 5 por medio del programador XU-USB al computador. Ejecute el programa que se encuentra en el escritorio como: (XU Setup). Haga clic sobre el comando 'connect' que se muestra en la interfaz del software de la Figura 1 identificado con el numero (1) y espere unos minutos mientras el sistema lee el modelo conectado.



Figura 5 conexión XU-USB Modelo de transmisor XU2.

- k. Conecte una RTD Pt100 de 3 hilos a los terminales del transmisor identificados con los números '6', '7' y '8'. Tenga en cuenta que los dos hilos del mismo color deberán ir conectados a los terminales '7' y '8' y el hilo restante conéctelo al terminal '6'. Luego conecte una segunda RTD Pt100 de 3 hilos al terminal del transmisor identificado con el numero '6' (solo conectar el Hilo de color diferente). Verifique que el transmisor presenta las conexiones que se indican en la Figura 6.

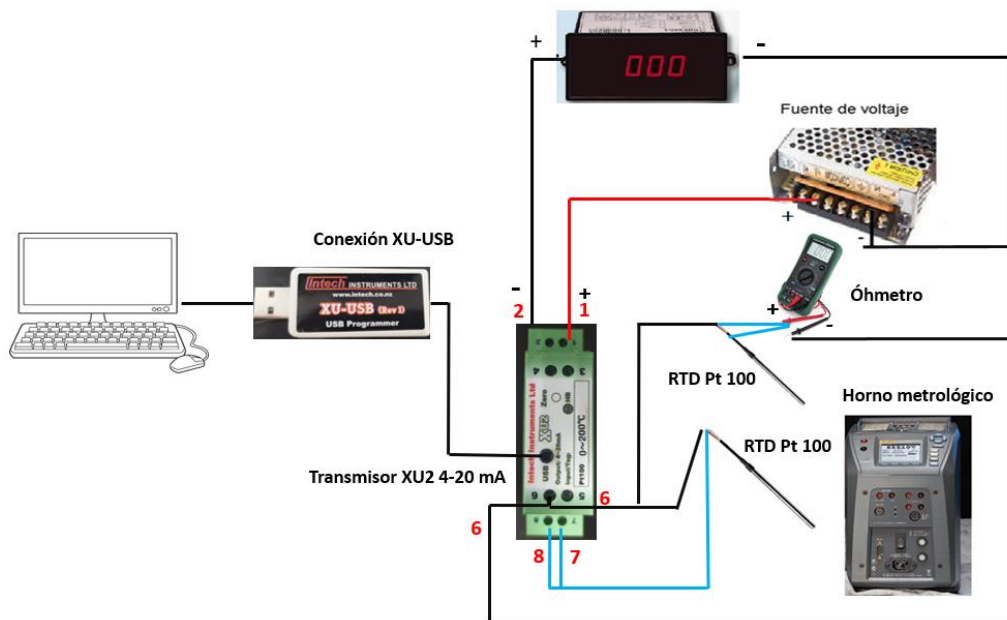


Figura 6 Diagrama de conexiones de lazo de corriente 4-20 mA modelo XU2.

- l. Repita los pasos de los ítems d y e mencionados anteriormente.
- m. Realice la configuración del rango de entrada desplegando en el comando 'Range' la opción de 'User Defined Range'. (ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el numeral 5). Ingrese en **Zero: 0** y en **to Span: 65**. Así a 0°C el

amperímetro mostrará 4mA y a 65°C mostrará 20 mA. Realice nuevamente la modificación del baño seco que se mencionó en el ítem f. por último, repita el ítem g para programar el transmisor.

- n. Registre en la Tabla 2 el valor de la corriente que muestra la pantalla del software y el valor de la resistencia medido por el óhmetro. Finalmente apague la fuente de voltaje y haga clic en 'Disconnect'(ver en la Figura 1 el numeral 1).
- o. Construya (2) graficas diferentes con los valores de corriente del software y resistencia registrados (Temperatura Vs la corriente del software y Temperatura Vs Resistencia).

Display Baño Seco	RTDpt100 de 3 Hilos	
Temperatura (°C)	Corriente en el software (mA)	Corriente en el multímetro (mA)
0		
5		
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		
55		
60		
65		
70		
75		
80		
85		
90		
95		
100		

Tabla 1 Datos del valor de corriente.

Display Baño Seco	RTDpt100 de 3 Hilos	
Temperatura (°C)	Corriente en el software (mA)	Resistencia (Ω)
0		
5		
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		
55		
60		
65		

Tabla 2 Datos de los valores de corriente y resistencia.

°C	Ohms	Diff.	°C	Ohms	Diff.	°C	Ohms	Diff.	°C	Ohms	Diff.
± 0	100.00	0.39	+60	123.24	0.38	30	111.67	0.39	90	134.71	0.38
+ 1	100.39	0.39	61	123.62	0.38	31	112.06	0.39	91	135.09	0.38
2	100.78	0.39	62	124.01	0.39	32	112.45	0.39	92	135.47	0.38
3	101.17	0.39	63	124.39	0.38	33	112.83	0.38	93	135.85	0.38
4	101.56	0.39	64	124.77	0.38	34	113.22	0.39	94	136.23	0.38
5	101.95	0.39	65	125.17	0.40	35	113.61	0.39	95	136.61	0.38
6	102.34	0.39	66	125.55	0.38	36	113.99	0.38	96	136.99	0.38
7	102.73	0.39	67	125.93	0.38	37	114.38	0.39	97	137.37	0.38
8	103.12	0.39	68	126.32	0.39	38	114.77	0.39	98	137.75	0.38
9	103.51	0.39	69	126.70	0.38	39	115.15	0.38	99	138.13	0.38
10	103.90	0.39	70	127.08	0.38	40	115.54	0.39	100	138.51	0.38
11	104.29	0.39	71	127.46	0.38	41	115.93	0.39	101	138.89	0.38
12	104.68	0.39	72	127.85	0.39	42	116.31	0.38	102	139.27	0.38
13	105.07	0.39	73	128.23	0.38	43	116.70	0.39	103	139.65	0.38
14	105.46	0.39	74	128.61	0.38	44	117.08	0.38	104	140.03	0.38
15	105.85	0.39	75	128.99	0.38	45	117.47	0.39	105	140.39	0.36
16	106.24	0.39	76	129.38	0.39	46	117.85	0.38	106	140.77	0.38
17	106.63	0.39	77	129.76	0.38	47	118.24	0.39	107	141.15	0.38
18	107.02	0.39	78	130.14	0.38	48	118.62	0.38	108	141.53	0.38
19	107.40	0.38	79	130.52	0.38	49	119.01	0.39	109	141.91	0.38
20	107.79	0.39	80	130.90	0.38	50	119.40	0.39	110	142.29	0.38
21	108.18	0.39	81	131.28	0.38	51	119.78	0.38	111	142.66	0.37
22	108.57	0.39	82	131.67	0.39	52	120.16	0.38	112	143.04	0.38
23	108.96	0.39	83	132.05	0.38	53	120.55	0.39	113	143.42	0.38
24	109.35	0.39	84	132.43	0.38	54	120.93	0.38	114	143.80	0.38
25	109.73	0.38	85	132.81	0.38	55	121.32	0.39	115	144.18	0.38
26	110.12	0.39	86	133.19	0.38	56	121.70	0.38	116	144.56	0.38
27	110.51	0.39	87	133.57	0.38	57	122.09	0.39	117	144.94	0.38
28	110.90	0.39	88	133.95	0.38	58	122.47	0.38	118	145.32	0.38
29	111.28	0.38	89	134.33	0.38	59	122.86	0.39	119	145.69	0.37

Tabla 3 Valores de resistencia según la temperatura de una RTD Pt100.

- **Resultados**

- a. A partir de las gráficas, describa la relación que existe entre la temperatura y los valores de corriente obtenidos por el software y el amperímetro analice la función que cumple un transmisor de tipo programable para un lazo de control estandarizado.
- b. Compare los valores de temperatura y resistencia que obtuvo durante la practica registrados en la Tabla 2 con los valores de la Tabla 3 y realice un análisis.
- c. Describa las posibles fuentes de error durante la práctica y su efecto en los resultados.
- d. Conclusiones y recomendaciones.

BIBLIOGRAFIA

1. Frederick A. Meier, Clifford A. Meier. Instrumentation and Control Systems Documentation. ISA
2. Creus Solé, Antonio. Instrumentación Industrial. Octava Edición. Barcelona, España. Editorial Alfaomega Marcombo. 2011. ISBN 84-267-1361-5.
3. Instrumatic. (2020). Instrumatic. Obtenido de <https://instrumatic.com.co/producto/serie-xu/>

Bucaramanga, 23 de diciembre de 2020

Señores

COMITÉ DE TRABAJO DE GRADO Y PRÁCTICAS EMPRESARIALES.

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

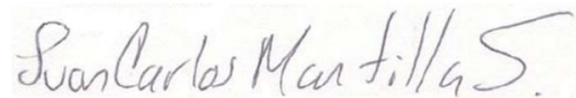
UPB BUCARAMANGA

CIUDAD

Respetados Señores:

Cordial Saludo. Atentamente me dirijo a ustedes para presentar el trabajo de grado titulado **REORGANIZACIÓN DEL MÓDULO DE TEMPERATURA CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE CONFIGURACIÓN DE TRANSMISORES EN EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN DE LA UPB**, realizado por los estudiantes **MAYRA ALEJANDRA VARGAS CETINA ID: 221937**, y **CARLOS ANDRÉS ESTUPIÑÁN BLANCO ID: 231777**. para su respectiva evaluación y asignación de fecha de sustentación. Muchas Gracias.

Atentamente,



JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA

DIRECTOR DEL PROYECTO