

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Tesis previa a la obtención del título de:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS  
PARA EL CONTRASTE DE INSTRUMENTOS DE LAS  
VARIABLES FÍSICAS TEMPERATURA Y PRESIÓN.**

**AUTOR:**

**LUIS MIGUEL SÁNCHEZ POZO**

**DIRECTOR:**

**ING. LUIS ANTONIO NEIRA CLEMENTE**

**GUAYAQUIL, MARZO DEL 2015**

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Luis Miguel Sánchez Pozo declaro que el trabajo descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mi derecho de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa vigente.

---

**Sr. Luis Miguel Sánchez Pozo**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta obra a mis padres,

mis hermanos a mi amorcito por siempre creer en mí

.....nunca los defraudaré.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente quiero darle gracias a Dios por darme las bendiciones a través de mis padres, y por permitirme dar un paso más en mi existencia alcanzando mis metas planteadas.

A mi familia quiero decirles que esto que se logró aquí no solo es mío, sino es el esfuerzo de todos los que han estado junto a mí brindándome su apoyo y calor humano.

A mis amigos que me acompañaron durante todo este tiempo de esfuerzo y dedicación.

Al Ingeniero Luis Neira por la acertada orientación y dirección en el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil por acogerme en sus aulas y enseñarme fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido un soporte y compañía durante todo el período de estudio.

Luis Sánchez Pozo.

## ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA	
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
INDICE GENERAL .....	V
ÍNDICE DE CUADROS Y/O TABLAS .....	X
INDICE DE GRÁFICOS .....	XI
ABSTRACT ESPAÑOL .....	XIII
ABSTRACT INGLÉS .....	XIV
Introducción .....	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA .....	2
1.1 Planteamiento del problema .....	2
1.2 Delimitación del problema .....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.4 Justificación .....	3
1.5 Variables e Indicadores .....	3
1.6 Marco metodológico .....	3
1.7 Resumen de la propuesta de intervención .....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 Temperatura .....	6
2.2 Elementos para medición de temperatura .....	7
2.2.1 Sensores de temperatura con termopares .....	7
2.2.2 Circuitos integrados .....	11
2.2.3 Sensores de temperatura resistivos .....	11
2.3 Calibración de temperatura .....	11
2.3.1 Equipo .....	12
2.3.1.1 Termómetro de referencia. ....	12
2.3.1.2 Indicadores .....	13

2.3.1.3	Fuente de temperatura. ....	13
2.3.1.3.1	Bloques secos ....	13
2.3.1.3.2	Baños líquidos ....	14
2.4	Presión ....	15
2.4.1	Instrumentos para medición de presión ....	16
2.4.2	Producción del aire comprimido ....	16
2.4.2.1	Compresores ....	17
2.4.2.1.1	Tipos de compresores ....	17
2.4.2.2	Válvulas ....	17
2.4.3	Conducción del aire comprimido ....	18
<b>CAPÍTULO III. DISEÑO DEL HARDWARE Y SOFTWARE DE CONTROL</b>		<b>19</b>
3.0	<b>CONTRASTADOR DE TEMPERATURA</b> ....	<b>19</b>
3.1	Descripción del banco de instrumentación ....	19
3.1.1	Termómetro de referencia o patrón ....	20
3.1.2	Unidad de calentamiento y refrigeración ....	21
3.1.3	Descripción del proceso para desarrollo del lazo de control ....	22
3.1.3.1	Consola eléctrica ....	23
3.1.4	Construcción mecánica y característica de los elementos ....	24
3.1.4.1	Características generales ....	25
3.1.4.1.1	Alimentación del equipo ....	25
3.1.4.1.2	Dispositivos de maniobra y gabinete de control ....	27
3.1.4.1.3	Dispositivos detectores ....	31
3.1.4.1.4	Dispositivos actuadores ....	31
3.1.5	Interfaz para transductores ....	33
3.1.5.1	Acondicionador de señal del transductor de termopar ....	34
3.1.5.1.1	Convertidor de corriente a tensión ....	35
3.1.5.2	Acondicionador de señal del transductor Pt100 ....	37
3.1.5.2.1	Asignación de los bornes de conexión ....	38
3.1.5.2.2	Convertidor de corriente a tensión ....	39
3.1.6	Descripción del controlador de temperatura ....	39
3.1.6.1	El microcontrolador ....	40

3.1.6.2	Descripción del proceso de funcionamiento del controlador de temperatura .....	42
3.1.6.3	Diseño de la tarjeta electrónica del controlador de temperatura	45
3.1.6.4	Ajustes y pruebas del circuito electrónico .....	46
3.1.7	Código fuente del controlador de temperatura .....	47
3.2	CALIBRADOR DE PRESIÓN .....	52
3.2.1	Principio de operación .....	53
3.2.1.1	Cámara de presurización .....	53
3.2.1.2	Grupo de presurización .....	53
3.2.1.3	Unidad electrónica .....	54
3.2.2	Diseño de la unidad electrónica del calibrador de presión .....	55
3.2.2.1	Descripción del circuito de control .....	57
3.2.2.2	Diseño de la tarjeta electrónica .....	58
3.2.2.3	Ajustes y pruebas del circuito electrónico .....	59
3.2.2.4	Código fuente del medidor de presión .....	60
CAPÍTULO IV. PRUEBAS Y RESULTADOS .....		62
VARIABLE: TEMPERATURA		
4.1	Procedimientos y técnicas de calibración .....	62
4.1.1	Comparación directa con un patrón .....	63
4.2	Desarrollo de guías de calibración .....	63
4.2.1	Objetivo .....	63
4.2.2	Alcance .....	63
4.2.3	Procedimientos .....	63
4.2.4	Procedimiento de contrastación de PT100 .....	65
4.2.5	Procedimiento para calcular temperatura de una Pt100 mediante el uso de tablas DIN 43760 .....	67
4.2.6	Procedimiento de contrastación de termocupla .....	69
4.2.7	Procedimiento para calcular temperatura de una termocupla mediante el uso de tablas DIN 43760 .....	70
4.2.8	Calibración de termómetros e indicadores de temperatura electrónicos .....	72

4.3	Guía de prácticas a desarrollar .....	72
	Práctica 1: Medición de temperatura con RTD. ....	73
	Práctica 2: Medición de temperatura con Termistor. ....	79
	Práctica 3: Puente de Wheatstone y sensores PT-100. ....	84
	Práctica 4: Transmisor con salida a tensión eléctrica. ....	88
	Práctica 5: Transmisor con salida a corriente eléctrica. ....	91
	Práctica 6: Termómetro de líquido en vidrio. ....	95
	 VARIABLE: PRESIÓN	
4.4	Desarrollo de guías de calibración .....	101
4.4.1	Objetivo .....	101
4.4.2	Alcance .....	101
4.4.3	Procedimientos .....	101
4.4.4	Contrastación de los transmisores de presión .....	103
4.4.5	Contrastación de manómetros mediante transductor de presión	103
4.4.5.1	Procedimiento de calibración de manómetros .....	104
4.4.6	Medidas de seguridad y medio ambiente .....	105
4.4.7	Guía de práctica a desarrollar .....	105
	Práctica 1. Medición de presión .....	106
	 Conclusiones .....	109
	Recomendaciones .....	112
	Cronograma .....	116
	Presupuesto .....	118
	Referencias .....	120
	Anexos .....	122

## ÍNDICE DE CUADROS Y/O TABLAS

Cuadro 1.	Elementos primarios de medición de temperatura .....	7
Tabla 1.	Clasificación general de las termocuplas .....	9
Tabla 2.	Distributivo de equivalencias en valores de presión .....	15
Tabla 3.	Dimensiones del banco .....	25
Tabla 4.	Carga instalada .....	25
Tabla 5.	Valores de resistencia en °C para las sondas de resistencia PT100 con coeficiente de resistencia 0.00385 según DIN 43.760 .....	67
Tabla 6.	Valores de resistencia según la temperatura en °C para las termocuplas J según DIN. 43760 .....	71
Tabla 7.	Valores de resistencia según la temperatura en °C para las termocuplas K según DIN. 43760 .....	71
Tabla 8.	Cronograma de ejecución .....	114
Tabla 9.	Costo de materiales controlador de temperatura .....	116
Tabla 10.	Costo de diseños y programación .....	117
Tabla 11.	Costo total del proyecto .....	117
Tabla 12.	Costo de materiales calibrador de presión .....	118
Tabla 13.	Costo de diseños y programación .....	119
Tabla 14.	Costo total del proyecto .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Banco de instrumentación para el contraste de instrumentos de las variables físicas presión y temperatura .....	5
Figura 2.	Diagramación de la estructura interna de las termocuplas .....	8
Figura 3.	Código de colores para termocuplas tipo R y S. ....	10
Figura 4.	Código de colores de las termocuplas .....	10
Figura 5.	Indicadores de temperatura .....	13
Figura 6.	Calibradores de bloque seco .....	13
Figura 7.	Estanque termorregulado o baños líquidos .....	14
Figura 8.	Banco de instrumentación para el contraste de instrumentos de las variables físicas presión y temperatura .....	19
Figura 9.	Sensor patrón DS18B20 .....	20
Figura 10.	Esquema de la unidad de temperatura .....	21
Figura 11.	Unidad de calentamiento y refrigeración .....	22
Figura 12.	Sistema de adquisición de datos y control .....	23
Figura 13.	Banco de alojamiento para el contraste de las variables físicas temperatura y presión .....	24
Figura 14.	Enchufe de energización .....	25
Figura 15.	Interruptor termomagnético de protección general .....	26
Figura 16.	Fuentes de alimentación .....	26
Figura 17.	Tablero de mando del controlador de temperatura .....	27
Figura 18.	Dispositivo de maniobra selector .....	28
Figura 19.	Dispositivo de maniobra pulsadores .....	28
Figura 20.	Dispositivo de maniobra interruptor de emergencia .....	29
Figura 21.	Circuito eléctrico dispositivos de maniobra .....	29
Figura 22.	Luces piloto .....	30
Figura 23.	Circuito eléctrico indicadores luminosos .....	30
Figura 24.	Foto real de los LCD .....	31
Figura 25.	Dispositivos detectores .....	31
Figura 26.	Dispositivos actuadores carga instalada .....	32
Figura 27.	Tarjeta de gobierno de la carga instalada .....	33

Figura 28.	Borneras de conexión .....	33
Figura 29.	Transmisor analógico TMT181 para termopar .....	34
Figura 30.	Vista de conexión transmisor analógico TMT181 .....	34
Figura 31.	Circuito convertidor de corriente a voltaje .....	35
Figura 32.	Circuito sensor de corriente .....	36
Figura 33.	Circuito amplificador diferencial .....	36
Figura 34.	Circuito emisor seguidor .....	37
Figura 35.	Puentes de soldadura para configuración de transmisor analógico T19.10-1. ....	37
Figura 36.	Transmisor analógico T19.10-1 .....	38
Figura 37.	Asignación de bornes de conexión en T19.10-1 .....	38
Figura 38.	Diagrama de bloques del controlador de temperatura .....	39
Figura 39.	Diseño del circuito del controlador de temperatura .....	41
Figura 40.	Diseño del arte para montaje del controlador de temperatura ...	45
Figura 41.	Vista superior de la placa madre del controlador de temperatura .....	46
Figura 42.	Vista de consola del controlador de temperatura .....	47
Figura 43.	Calibrador de presión .....	52
Figura 44.	Cámara de presurización .....	53
Figura 45.	Grupo de presurización .....	54
Figura 46.	Medidor de presión digital .....	54
Figura 47.	Acondicionamiento de señal para medidor de presión .....	55
Figura 48.	Circuito eliminador de corrientes parásitas .....	56
Figura 49.	Circuito acoplador de impedancias .....	57
Figura 50.	Circuito convertidor de corriente a voltaje .....	57
Figura 51.	Esquemático del circuito medidor de presión .....	58
Figura 52.	Diagrama de tarjeta madre del medidor de presión .....	59
Figura 53.	Vista pictórica de la tarjeta madre del medidor de presión .....	60
Figura 54.	Representación pictórica para contraste de Pt-100 .....	66
Figura 55.	Representación pictórica para contraste de termocupla. ....	70
Figura 56.	Representación de los manómetros .....	102
Figura 57.	Representación pictórica del circuito calibrador de presión ..	103

## ABSTRACT ESPAÑOL

AÑO	ALUMNO	DIRECTOR DE TESIS	TEMA DE TESIS
2015	LUIS MIGUEL SANCHEZ POZO	ING. LUIS NEIRA	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL CONTRASTE DE ISTRUMENTOS DE LAS VARIABLES FÍSICAS TEMPERATURA Y PRESIÓN.

El desarrollo de este proyecto se basa específicamente en aplicaciones de calibración.

Se exponen los resultados en el diseño y la obtención de un modelo industrial para la medición, indicación digital y control de la temperatura. El trabajo incluye el diseño del hardware del equipo y el desarrollo y puesta a punto del software de la aplicación permitiendo el uso de distintos elementos sensores. El modelo industrial construido es verificado y validado con resultados satisfactorios.

En lo referente al calibrador de presión presente se muestra la arquitectura para el diseño de un sistema medidor de presión digital, utilizando un transductor de presión analógico.

El objetivo es ayudar a estudiantes a entender cómo trabajan los diferentes sistemas de calibración desde lo elemental hasta los de última generación. Se ha procurado que cada módulo sea diferente del otro a fin de observar las aplicaciones señaladas.

Al proyecto lo complementa un análisis desarrollado con experimentos y pruebas, que crean un sistema didáctico de prácticas para los estudiantes de las materias de Sensores y Electrónica de Potencia.

### **PALABRAS CLAVES**

Diseño e implementación de un módulo orientado al desarrollo de calibraciones. Control. Temperatura. Presión.

## ABSTRACT INGLÉS

YEAR	STUDENT	SUPERVISOR	THESIS TOPIC
2015	LUIS MIGUEL SANCHEZ POZO	ING. LUIS NEIRA	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A TEST BENCH FOR CONTRAST ISTRUMENTOS OF PHYSICAL VARIABLE TEMPERATURE AND PRESSURE.

The development of this project is specifically based on calibration applications. Results in designing and obtaining an industrial model for measuring, display and digital temperature control are set. The work includes the design of computer hardware and development and tuning software application allowing the use of different sensor elements. The built industrial model is verified and validated with satisfactory results.

Regarding the pressure gauge shows this architecture for the design of a digital pressure measuring system using an analog pressure transducer.

The goal is to help students understand how they work different calibration systems from the elementary to the next generation. Has ensured that each module is different from the other in order to observe the aforementioned applications.

The project complements an analysis developed with experiments and tests, creating a system of practical training for students in the areas of Sensors and Power Electronics.

### KEYWORDS

Design and implementation of a development oriented calibration module. Control.  
Temperature. Pressure.

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño e implementación de un banco de pruebas para el contraste de instrumentos de las variables físicas temperatura y presión.

El desarrollo del Capítulo I describe la temática del por qué y para qué se desarrolla este proyecto realizando un análisis específico de la situación, factibilidad y viabilidad de la ejecución de este banco de contraste.

En el Capítulo II se presenta el marco teórico para la realización del proyecto. Se describen los conceptos básicos correspondientes a calibración, se enlistan cuáles son los instrumentos básicos utilizados para realizar la medición de las variables físicas tanto de temperatura como de presión, además se proporciona información acerca de los equipos con los que se realizan estas calibraciones.

En el Capítulo III se describen los componentes y características de los elementos con que se va a implementar el banco de instrumentación, así mismo se muestra el diseño de la estructura mecánica del banco y a su vez los circuitos eléctricos y electrónicos de las diferentes entradas y salidas, protecciones y el circuito de control esquemático de las tarjetas de adquisición de datos.

En esta sección también se trata la declaración del desarrollo del software de control, diseño de los circuitos de control principales, código fuente de la programación utilizada en el desarrollo de este proyecto.

El Capítulo IV se enmarca en el desarrollo de las guías de calibración, procedimientos y técnicas para la ejecución de las mismas.

Para completar el libro se agregan las conclusiones, presupuesto, recomendaciones, cronograma, referencias bibliográficas y anexos para el óptimo empleo del equipo.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA.**

### **1.1 Planteamiento del problema**

En la actualidad no existen suficientes bancos de instrumentación en los Laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil y adquirir uno resultaría muy costoso para la institución.

En el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Electrónica se encuentran materias del área de Control, Medición e Instrumentación, donde se diseñan modelos matemáticos de procesos y circuitos electrónicos de control que solo permiten la simulación con la ayuda de softwares, dejando de lado la parte física donde se aprecie la planta en su totalidad.

### **1.2 Delimitación del problema**

El banco para el contraste de los instrumentos correspondientes a las variables físicas de temperatura y presión estará alojado en la Universidad Politécnica Salesiana con sede en la ciudad de Guayaquil en el Laboratorio de Electrónica Analógica.

Se propondrán prácticas correspondientes al contraste de los instrumentos y técnicas de calibración para ambas variables.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

- Diseñar e implementar un banco de instrumentación didáctico para el contraste o calibración de instrumentos de medición de las variables físicas de presión y temperatura.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar e implementar el módulo que alojará la instrumentación y circuitería.

- Realizar calibraciones de instrumentos electromecánicos y electrónicos de presión y temperatura.
- Describir los equipos, procedimientos y prácticas existentes para la realización de calibraciones de presión y temperatura.
- Estudiar el comportamiento de los instrumentos de medición para presión y temperatura.
- Configurar los equipos para realizar calibraciones de Presión, y Temperatura.

#### **1.4 Justificación**

En este proyecto se ha propuesto desarrollar un banco para pruebas de instrumentación que empleen pequeñas plantas para simular dos procesos (temperatura, y presión) y poder verificar, calibrar o ajustar diferentes tipos de dispositivos relacionados con estas variables físicas, para que los estudiantes realicen prácticas y refuercen los conocimientos adquiridos en las clases teóricas en las materias de la carrera.

#### **1.5 Variables e Indicadores**

Este banco maneja como variables las magnitudes físicas de temperatura y presión visualizando tales medidas en sus unidades de muestreo que son los grados centígrados (°C) para la unidad de calor y la presión se visualizará en bar y psi.

#### **1.6 Marco Metodológico.**

De acuerdo con el problema la investigación fue de tipo proyecto factible.

Proyecto factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas requerimientos o necesidades; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos”.

El objetivo es ofrecer valores calculados que guarden una estrecha correlación con las evaluaciones subjetivas del observador.

Esta recomendación incluye:

Métodos de ajuste de curvas de valores objetivos de señales ya sean estas de corriente, voltaje o resistencia a datos subjetivos, con el fin de facilitar el cálculo de la precisión y elaborar una escala de valores normalizados.

Un algoritmo para cuantificar la precisión de una las variables a controlar.

Un cálculo simplificado del error medio para cuantificar la precisión de una señal cuando los datos representan una variación prácticamente constante a lo largo de la escala o rango.

Un método para representar los errores de clasificación, a fin de determinar la confiabilidad y certeza de los instrumentos.

### **1.7 Resumen de la propuesta de intervención**

El banco de instrumentación consta de una estantería metálica tipo mesa, donde reposa la instrumentación y equipos necesarios para ejecutar el contraste de equipos e instrumentos de las variables físicas de temperatura y presión.

Para el desarrollo del proyecto se cuenta con el siguiente equipo, que es el que se ocupa normalmente para realizar un proceso de calibración.

#### TEMPERATURA

- Termómetro de referencia o patrón.
- Unidad de calentamiento y enfriamiento.
- Consola eléctrica con sistema de control.
- Base de montaje.
- Kit de elementos de verificación.

#### PRESIÓN

- Generador de presión.
- Manómetro tipo Bourdon.
- Transductor de presión electrónico (4 a 20mA).
- Racores y mangueras neumáticas.

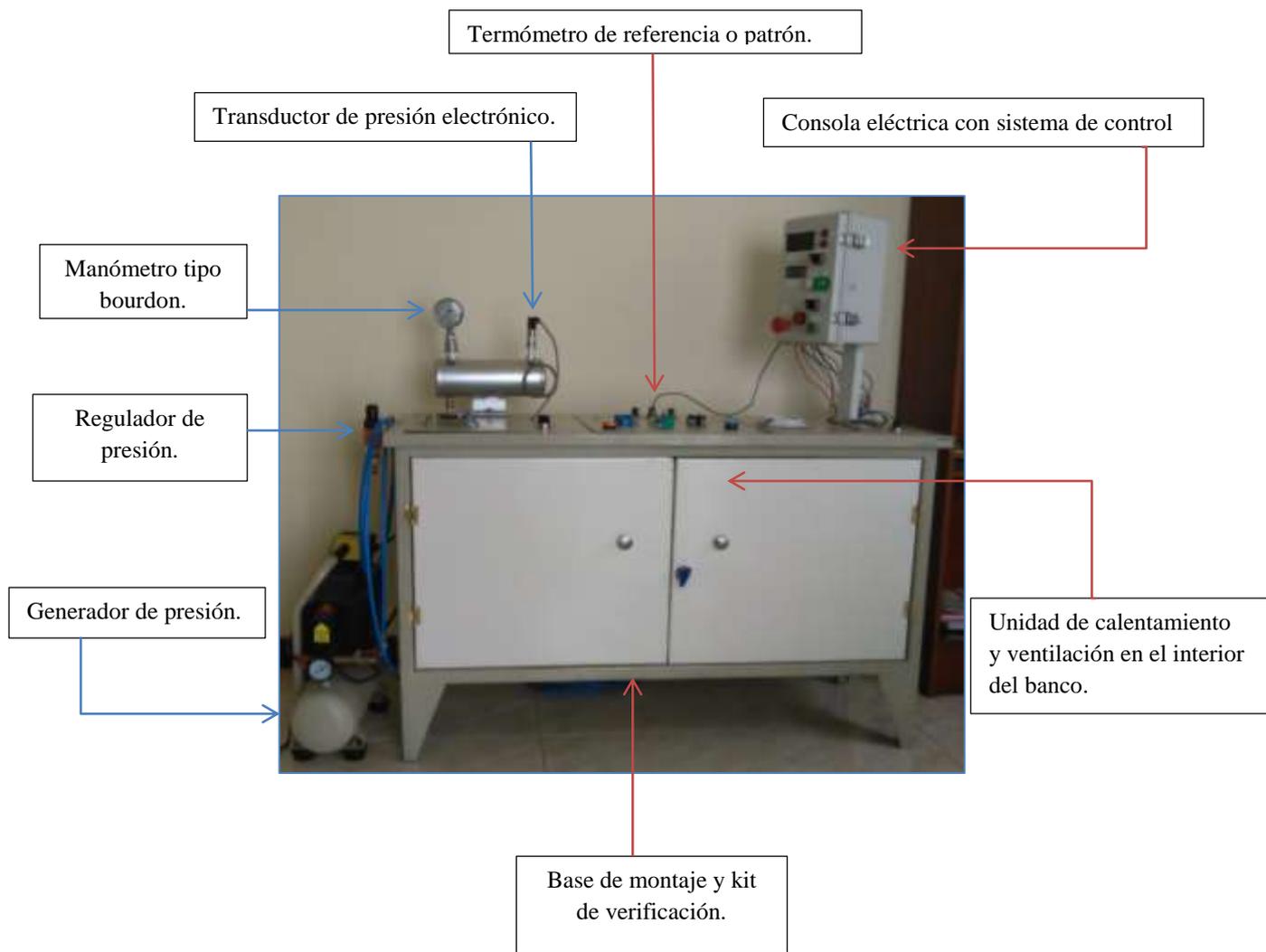


Figura 1. Banco de instrumentación para contraste de instrumentos de las variables físicas presión y temperatura.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 TEMPERATURA.

La temperatura es una magnitud física que refleja la cantidad de calor o energía térmica de las partículas, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente.

Todos los instrumentos de medición de temperatura cualquiera que fuese su naturaleza dan la misma lectura en cero por ciento (0%) y 100%, si se calibra adecuadamente, pero en otros puntos generalmente la lectura no corresponderá porque las propiedades de expansión de los líquidos varían.

Las unidades de temperatura son:

- °C (Celsius),
- °F (Fahrenheit),
- °K (Kelvin), las unidades más común son las Celsius y Fahrenheit.

Relación entre escalas de temperatura.

$$T (^{\circ}\text{C}) = [ T(^{\circ}\text{F}) - 32 ] / 1.8$$

$$T (^{\circ}\text{F}) = [ 1.8 T(^{\circ}\text{C}) ] + 32$$

Los elementos primarios de medición de temperatura, son transductores que convierten la energía térmica en otra clase de energía.

Se han dividido los elementos primarios de medición de temperatura en tres tipos:

- Termómetros: Transductores que convierten la temperatura en movimiento.
- Sistemas termales: Transductores que convierten la temperatura en presión (y después en movimiento).
- Termoeléctricos: Transductores que convierten la temperatura en energía eléctrica (y mediante un circuito en movimiento).

Cuadro 1. Elementos primarios de medición de temperatura

	Termómetros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De Alcohol</li> <li>• De Mercurio</li> <li>• Bimetálico</li> </ul>
<b>Elementos Primarios de medición de temperatura</b>	Sistemas Termales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Líquido (Clase I)</li> <li>• Vapor (Clase II)</li> <li>• Gas (Clase III)</li> <li>• Mercurio (Clase IV)</li> </ul>
	Termoeléctricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termopar</li> <li>• Resistencia</li> <li>• Radiación</li> <li>• Óptico</li> </ul>

Nota: En el cuadro 1 podemos apreciar los tipos de elementos primarios de medición y sus debidas clases, estos son los más utilizados.

Fuente: Ogata Katsuhiko, “Ingeniería de Control Moderno”, 2º Edición, Prentice Hall, México 1993

## 2.2 ELEMENTOS PARA MEDICIÓN DE TEMPERATURA.

La temperatura es el parámetro físico más común que se mide en una aplicación industrial. Entre los principales métodos de medición de temperatura desde el punto de vista electrónico tenemos a los siguientes elementos:

- Sensores de temperatura con termopares.
- Circuitos integrados y
- Sensores de temperatura resistivos.

### 2.2.1 SENSORES DE TEMPERATURA CON TERMOPARES

El termopar también llamado termocupla, es un dispositivo para la medición de la temperatura, basado en efectos termoeléctricos. Es un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, unidos en sus extremos y entre cuyas uniones existe una diferencia de temperatura originando una fuerza electromotriz.

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable, en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio.

Estos elementos están basados en el efecto Seebeck, que dice que cuando dos metales de distintas características se unen en un extremo, si se produce una diferencia de temperatura entre ambos extremos, se produce una diferencia de potencial entre los dos metales en el extremo no unido.

En pequeñas gamas de temperaturas, los coeficientes de Seebeck de los dos hilos son constantes y la tensión de Seebeck es, por consiguiente, proporcional, pero en gamas más grandes, el propio coeficiente de Seebeck es una función de la temperatura, convirtiendo la tensión de Seebeck en no lineal. Como consecuencia, las tensiones del termopar también tienden a ser no lineales.

En el uso industrial, la disposición es la siguiente:



Figura 2 .Diagramación de la estructura interna de las termocuplas  
Fuente: Creus Solé Antonio. (2004). Instrumentación Industrial, VII edición.

Dado que la diferencia de potencial, depende de la diferencia de temperatura y no de la temperatura absoluta, para calcular la temperatura, debemos saber la temperatura del extremo “frío”, la cual se puede obtener con uno de los métodos que nos da la temperatura en forma directa. A este efecto, en un instrumento de medición se lo llama “compensación de junta fría”.

Los pares de metales usados ya están muy estudiados y actualmente hay pares estandarizados.

Cada uno de estos, tiene una característica distinta de diferencia de potencial en función de la diferencia de temperatura.

O sea que cada instrumento se elige de acuerdo al rango que se va a usar para no aumentar el costo inútilmente.

Tabla 1 .Clasificación general de las termocuplas.

TIPO DE TERMOCUPLA	NOMBRE DE MATERIALES	LA APLICACION ÚTIL RANGO (°F)	mV
B	Platino 30% Rodio (+) Platino 6% Rodio (-)	100 – 3270	0.007-13.499
C	Tungsteno 5% Rhenium (+) Tungsteno 26% Rhenium (-)	3000-4200	-
E	Cromel (+) Constantan (-)	32 – 1800	0 – 75.12
J	Hierro (+) Constantan (-)	-300 – 1600	-7.52 – 50.05
K	Cromel (+) Aluminio (-)	-300 – 2300	-5.51 – 51.05
N	Nicrosil (+) Nisil (-)	1200 - 2300	-
R	Platino + 13% Radio (+) Platino (-)	32 - 2900	0 – 18.636
S	Platino + 10% Radio (+) Platino (-)	32 - 2800	0 – 15.979
T	Cobre (+) Constantan (-)	-300 – 750	-5.28 – 20.80

Nota: La tabla 1 muestra los rangos aproximados de temperatura y el par de metal usado. Además se nombra con una letra que ya es un protocolo internacional. Esto es debido a que en general los fabricantes de instrumentos no fabrican la termocupla, o sea que se puede adquirir por una parte el instrumento para una termocupla determinada y por otra parte la termocupla acorde al instrumento elegido.

Fuente: Normas ASTM. (2009). Mediciones Industriales, de Clasificación de termocuplas Sitio web: [www.dillyam.blogspot.com](http://www.dillyam.blogspot.com)

### CÓDIGOS DE COLORES DE LAS TERMOCUPLAS

Los cables de las termocupla están codificados dependiendo del tipo. Existen distintas normas. Las más comunes son:

Estados Unidos ASTM: Las normas de ASTM se utilizan alrededor del mundo para todo, desde el diseño y la creación de productos hasta el acceso a los mercados.

Los miembros de ASTM son personas, compañías y representantes del gobierno que contribuyen con su experiencia a influir en las normas que se establecen para sus industrias en particular.



Figura 3. Código de colores para termocuplas tipo R y S.  
Fuente: Normas ASTM.

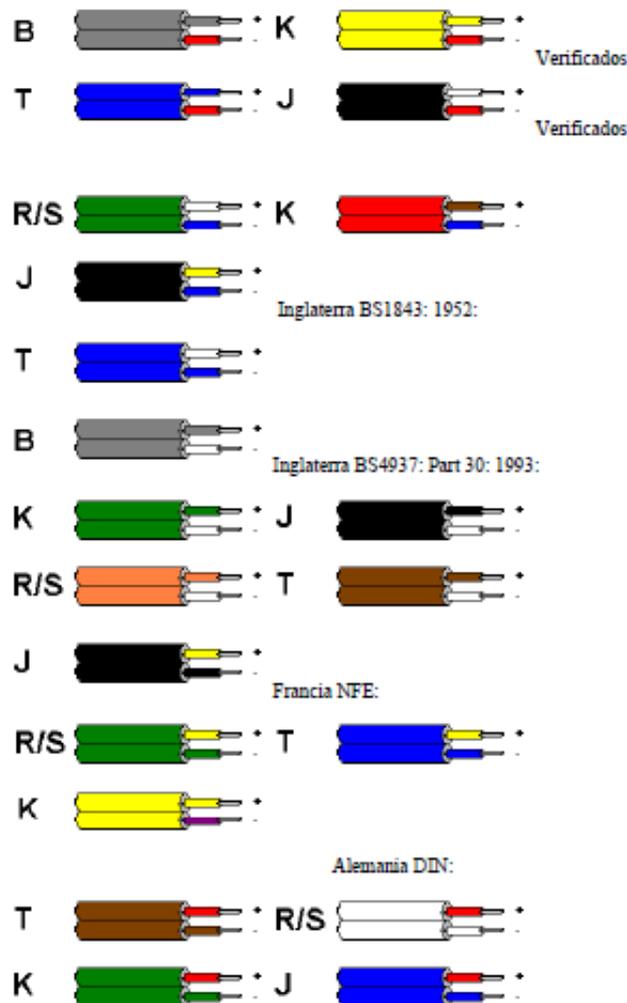


Figura 4 .Código de colores de las termocuplas.  
Fuente: Normas ASTM. (2009). Mediciones Industriales. 2009, de Clasificación de termocuplas Sitio web: [www.dillyam.blogspot.com](http://www.dillyam.blogspot.com)

Datos sacados de la web por lo que se deben tomar solo como ejemplo para asegurarse debe consultarse al proveedor en particular.

### **2.2.2 CIRCUITOS INTEGRADOS**

Son sensores de temperatura con base en semiconductores, tienen la forma de transistores, capacitores y resistencias. Entre sus características:

- Son lineales.
- Entregan voltajes o corrientes lineales a la salida.
- No tienen aplicaciones industriales.
- No tienen protecciones.
- No son sensores activos ya que tienen acondicionamiento incluido, se necesita polarizarlos.

### **2.2.3 SENSORES DE TEMPERATURA RESISTIVOS**

Este grupo está formado por las RTD y los termistores. Las RTD son sensores basados en elementos conductores mientras que los termistores se fundamentan en semiconductores.

Los dispositivos RTD más comunes están constituidos con una resistencia de platino (Pt), llamadas también PRTD, aunque también se utilizan otros materiales.

Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia que puede ser positivo o negativo, si su coeficiente es negativo se denominan NTC, mientras que si es positivo se denominan PTC.

## **2.3 CALIBRACIÓN DE TEMPERATURA**

Calibración se define como un conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de las magnitudes indicadas por un instrumento de medición o un sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada o un material de referencia, y los valores correspondientes de la magnitud realizada por los patrones.

Lo primero que nos debemos preguntar es por qué realizar una calibración. Se podrán dar muchas respuestas, desde el requisito para cumplir con ciertas normas hasta el hecho de evaluar la incertidumbre del equipo que usamos. Pero en un sentido

práctico, la calibración en la industria se realiza para tener confianza en el equipo que estamos usando, con lo cual sabremos que no afectará la calidad de nuestro producto o servicio.

### **2.3.1 EQUIPO.**

El equipo que se ocupa normalmente para realizar una calibración es el siguiente:

- Termómetro de referencia.
- Indicador para el termómetro de referencia.
- Indicador para el termómetro bajo prueba.
- Fuente de temperatura.

#### **2.3.1.1 TERMÓMETRO DE REFERENCIA.**

Debido al amplio margen de temperatura no existe un único patrón capaz de reproducirla, son necesarios diferentes tipos de sensores y medios isotermos para interpolar entre los distintos puntos fijos que la definen.

Dado que las condiciones de estabilidad, pureza y fabricación son muy estrictas para los patrones que las definen, solamente algunos Laboratorios de Calibración y algunas industrias con gran peso económico, podrían mantener patrones con esas exigencias, pero si se pueden encontrar patrones de trabajo que se aproximen a las necesidades industriales con gran precisión y con costos hasta 20 veces inferiores a las exigidas para un Patrón Primario.

El termómetro de referencia será el que nos indique el valor “real” de temperatura que tiene la fuente de calor. Éste puede ser de varios tipos y la decisión de cuál es el adecuado dependerá en buena medida del intervalo de temperatura y de su incertidumbre.

La incertidumbre de una medición está asociada generalmente a su calidad. La incertidumbre de una medición es la duda que existe respecto al resultado de dicha medición.

### 2.3.1.2 INDICADORES.



Figura 5 .Indicadores de temperatura.

Fuente: Hart Scientific. (2001). Como calibrar en temperatura. 2004, de Ingeniería y Metrología Sitio web: [www.inymet.com.mx](http://www.inymet.com.mx)

Los indicadores, en ocasiones llamados monitores, puentes termométricos o incluso mal llamados termómetros digitales, son aquellos que sirven para medir la resistencia o la tensión eléctrica del termómetro de referencia y desplegar su lectura normalmente en unidades de °C, °F o K (Kelvin).

### 2.3.1.3 FUENTES DE TEMPERATURA.

Existen principalmente dos tipos de fuentes de temperatura para calibración industrial, los baños líquidos y los calibradores de bloque seco.

#### 2.3.1.3.1 BLOQUES SECOS.



Figura 6 .Calibradores de bloque seco.

Fuente: Hart Scientific. (2001). Como calibrar en temperatura. 2004, de Ingeniería y Metrología Sitio web: [www.inymet.com.mx](http://www.inymet.com.mx)

Los bloques secos son usados principalmente para la calibración de RTDs y termopares, no se recomienda su uso para calibración de termómetros de líquido en vidrio. En ocasiones, si la incertidumbre requerida lo permite, se puede evitar el uso del termómetro de referencia externo y emplear únicamente el sensor interno del bloque cuya lectura aparece en el display, por supuesto que se debe consultar la exactitud del mismo antes de emplearlo.

Otra ventaja de los bloques secos es el hecho de que alcanzan temperaturas más altas que los baños líquidos.

A continuación enumeramos las principales características de los bloques.

- Exactitud moderada.
- Diámetro de huecos fijos.
- Profundidad de inmersión fija.
- Secos y limpios.
- Portátiles.
- Cambios de temperatura rápidos.
- Sensor de referencia interno.
- Intervalo de temperatura normalmente amplio.

#### **2.3.1.3.2 BAÑOS LÍQUIDOS.**



Figura 7. Estanques termorregulados o baños líquidos.

Fuente: Hart Scientific. (2001). Como calibrar en temperatura. 2004, de Ingeniería y Metrología Sitio web: [www.inymet.com.mx](http://www.inymet.com.mx)

Los baños líquidos se usan normalmente para calibraciones de alta exactitud, para calibración de termómetros de líquido en vidrio e incluso para termómetros cuyas formas geométricas sean un poco caprichosas. Por su alta estabilidad y uniformidad son la opción perfecta en calibraciones donde se requiere de una incertidumbre baja.

## 2.4 PRESIÓN.

La presión se define como fuerza ejercida sobre una superficie por unidad de área. En ingeniería, el término presión se restringe generalmente a la fuerza ejercida por un fluido por unidad de área de la superficie que lo encierra. De esta manera se define como:

$$\text{Presión} = \text{Fuerza} / \text{Área}$$

La unidad básica del sistema internacional (SI) para la presión es el Newton por metro cuadrado (N/m<sup>2</sup>) o pascal (Pa). Esta es una unidad de presión muy pequeña, pero el kilo pascal (kPa), 1000 Pa, permite expresar fácilmente los rangos de presión comúnmente más usados en la industria.

Tabla 2 .Distributivo de equivalencias en valores de presión.

<i>Multiplique por</i>	<i>Kg./cm<sup>2</sup></i>	<i>Psi</i>	<i>Atmósfera</i>	<i>bar</i>	<i>Pulg. Hg.</i>	<i>KILOPASCAL</i>
<i>Kg./cm<sup>2</sup></i>	1	14,22	0,9678	0,98067	28,96	98,067
<i>Psi</i>	0,0703	1	0,06804	0,06895	2,036	6,845
<i>Atmósfera</i>	1,0332	14,696	1	1,01325	29,92	101,325
<i>bar</i>	1,0197	14,503	0,98692	1	29,53	100
<i>Pulg. Hg.</i>	0,0345	0,4912	0,03342	0,03386	1	3,3864
<i>KILOPASCAL</i>	0,0101	0,145	0,00986	0,01	0,2953	1

Nota: En la tabla 2 se presentan los valores de conversión entre las unidades de presión más comunes.

Fuente: Antonio Creus Solé. (1993). Instrumentación Industrial. Editorial Marcombo

### **2.4.1 INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE PRESIÓN.**

Los instrumentos mecánicos utilizados para medir presión pueden clasificarse en:

#### **COLUMNAS DE LÍQUIDO:**

- Manómetro de presión absoluta.
- Manómetro de tubo en U.
- Manómetro de pozo.
- Manómetro de tubo inclinado.
- Manómetro tipo campana.

#### **INSTRUMENTOS ELÁSTICOS:**

- Tubos Bourdon.
- Fuelles.
- Diafragmas.

#### **INSTRUMENTOS ELECTROMECAÑICOS Y ELECTRÓNICOS:**

- Medidores de esfuerzo.
- Transductores de presión resistivos.
- Transductores de presión capacitivos.
- Transductores de presión magnéticos.
- Transductores de presión piezoeléctricos.

### **2.4.2 PRODUCCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO**

La neumática es la parte de la ingeniería que se encarga del estudio y aplicación del aire comprimido en la realización de determinados procesos industriales.

Un circuito neumático es un conjunto de dispositivos capaces de generar, controlar y aprovechar la energía contenida en el aire presurizado para transformarla en trabajo útil. Los principales componentes de un circuito neumático son:

- Compresor
- Tanque de almacenamiento

- Unidad FRL (filtro-regulador-lubricador)
- Válvulas
- Conectores.

#### **2.4.2.1 COMPRESORES**

Son máquinas de flujo continuo en donde se transforma la energía cinética (velocidad) en presión. El compresor normalmente lleva el aire a un depósito para después coger el aire para alimentar al circuito neumático. Este depósito tiene un manómetro para regular la presión del aire. El filtro tiene la misión de extraer del aire comprimido circulante todas las impurezas y el agua (humedad) que tiene el aire que se puede condensar.

##### **2.4.2.1.1 TIPOS DE COMPRESORES.**

El elemento central de una instalación productora de aire comprimido es el compresor, la función de un compresor neumático es aspirar aire a presión atmosférica y comprimirlo a una presión más elevada.

Según las exigencias referentes a la presión de trabajo y al caudal de suministro se pueden emplear diversos tipos de construcción.

Los compresores se dividen, según el tipo de ejecución, en:

- Compresores de émbolo.
- Compresores rotativos.
- Compresores centrífugos.

#### **2.4.2.2 VÁLVULAS**

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la dirección o el caudal.

Según la función las válvulas se subdividen en cinco grupos:

- Válvulas de distribución
- Válvulas de bloqueo

- Válvulas de presión
- Válvulas de caudal
- Válvulas de cierre.

### **2.4.3 CONDUCCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO.**

La misión de la red de aire comprimido es llevar este desde la zona de compresores hasta los puntos de utilización.

Se entiende por red de aire comprimido el conjunto de todas las tuberías que parten del depósito, colocadas de modo que queden fijamente unidas entre sí, y que conducen el aire comprimido a los puntos de conexión para los consumidores individuales.

Deberá tener:

- Mínima pérdida de presión.
- Mínima pérdida de aire por fugas y
- Mínima cantidad de agua en la red y en los puntos de utilización.

Para determinar el diámetro correcto de las redes de aire es necesario considerar diversos factores. Estos son:

- El caudal de aire.
- La caída de presión admisible.
- La longitud de tubería y
- La presión de trabajo.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DEL HARDWARE Y SOFTWARE DE CONTROL

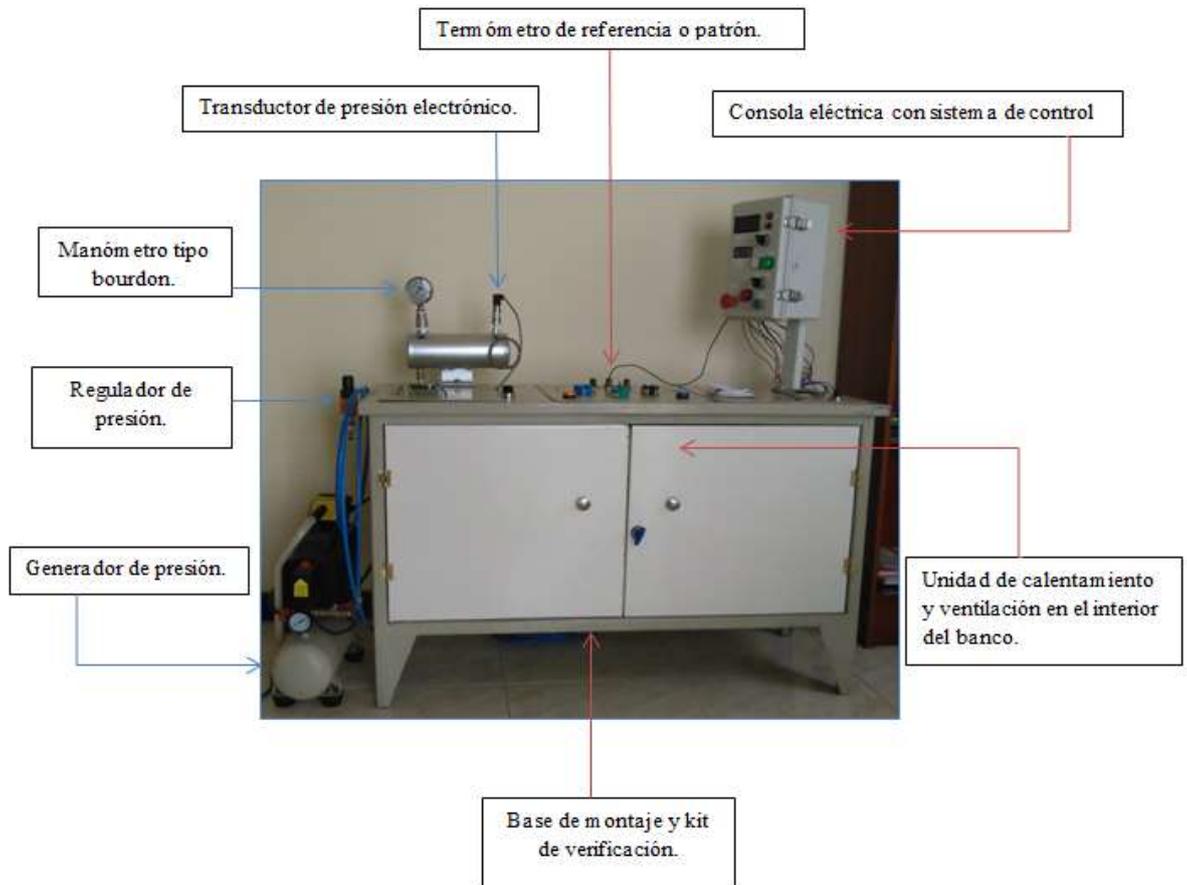


Figura 8. Banco de instrumentación para contraste de instrumentos de las variables físicas presión y temperatura.

La imagen muestra la estructura del banco de instrumentación diseñado e implementado para validación de este proyecto de graduación, en el cual se pueden realizar pruebas para el contraste o comprobación de instrumentos medidores de presión mecánicos y dispositivos electrónicos captadores de temperatura del tipo sensores de temperaturas con termopares para tipo J y K así como sensores de temperatura resistivos tipo Pt100.

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE INSTRUMENTACIÓN SECCIÓN

#### CORRESPONDIENTE AL CONTRASTE DE TEMPERATURA.

El diseño propuesto consiste de una serie de módulos que en su conjunto constituyen el banco de calibración de temperatura, el cual consta de:

- Termómetro de referencia o patrón.
- Unidad de calentamiento y refrigeración.
- Kit de elementos de verificación.
- Consola eléctrica con sistema de control.
- Base de montaje.

### 3.1.1 TERMÓMETRO DE REFERENCIA O PATRÓN.



Figura 9. Sensor de temperatura DS18B20 sumergible.

El sensor de temperatura DS18B20 es un dispositivo que se comunica de forma digital. Cuenta con tres terminales, los dos de alimentación y el pin “data”.

Ésta pequeña maravilla es un pequeño sensor de temperatura con una precisión de 9 a 12 bits de precisión desde  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$  (el usuario puede escoger la precisión deseada). No requiere de componentes externos para su funcionamiento.

Cada sensor incorpora de fábrica un número de serie de 64 bits que permite conectar múltiples sensores en paralelo usando sólo una patilla como bus de datos. Utiliza la comunicación OneWire que básicamente se trata de un protocolo especial que permite enviar y recibir datos utilizando un solo cable, a diferencia de la mayoría de los protocolos que requiere dos vías.

Su precio es económico, su interfaz de funcionamiento es sencilla y su uso es muy provechoso para proyectos que requieran mediciones precisas y confiables.

Se puede escoger entre el modelo sumergible y los modelos para uso en placas de circuitos.

Para el desarrollo de este proyecto se está utilizando el modelo sumergible por las características que ofrece que a continuación se detallan:

- Rango de tensiones de alimentación: 3.0V a 5.5V
- Sistema de alarma de límite de temperatura
- Tiempo de consulta menor a 750ms
- Conexión con 3 hilos: Cable rojo VCC, Cable negro GND, Cable blanco datos.
- Diámetro: 6 mm, tubo de acero inoxidable de 35 mm de largo
- Diámetro del cable: 4 mm
- Longitud total con cable: 90 cm

### 3.1.2 UNIDAD DE CALENTAMIENTO Y REFRIGERACIÓN.

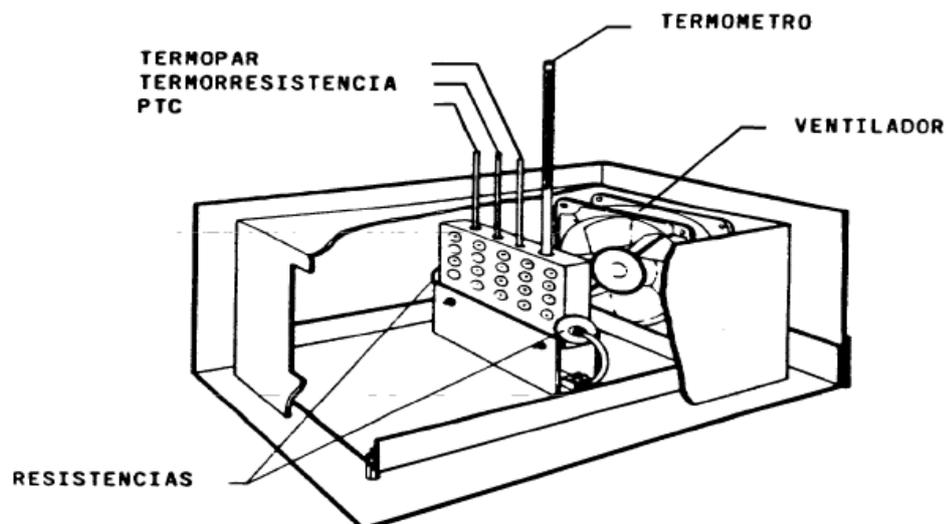


Figura 10. Esquema de la unidad de temperatura.

Fuente: ElettronicaVeneta, (2010). Transductores y control de temperatura, de Módulo G34/EV. Sitio web: [www.elettronicaveneta.com](http://www.elettronicaveneta.com)

La unidad de temperatura está constituida por:

- Los transductores de temperatura.
- Componentes resistivos calefactores.
- Ventilador de refrigeración.

Durante el proceso térmico la resistencia calienta la plancha de aluminio, la cual está en contacto con los elementos sensores a través de termopozos con vaina de acero inoxidable y bulón tipo rosca tipo NPT de  $\frac{3}{4}$ ".

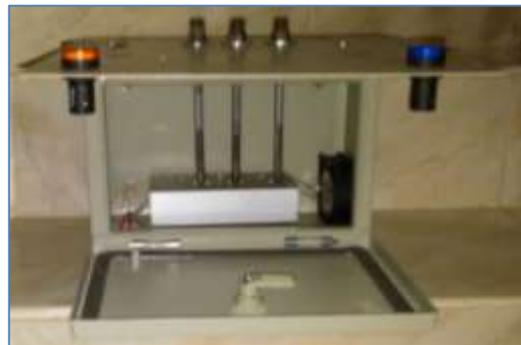
Una vez que se ha alcanzado el punto de temperatura deseado, y que se ha visto que se mantiene gracias al efecto del control, se puede enfriar la cámara por medio del ventilador para que la experiencia pueda ser repetida una vez más; incluso el ventilador hace parte misma del sistema de control, ya que una vez que se ha sobrepasado el valor de la temperatura de referencia, se emplea este elemento para implementar la acción correctiva.

Un termómetro de mercurio ubicado en el flanco superior de la unidad permite la lectura directa de la temperatura alcanzada por el proceso. El sólido contenedor de la unidad exterior es de tipo metálico con camisa termoaislante.

Las dimensiones de la unidad de calentamiento y refrigeración son: 300 x 200x 150 mm.



(a)



(b)

Figura 11. (a) Unidad de calentamiento y refrigeración vista externa; (b) Unidad de calentamiento y refrigeración vista interna.

### 3.1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA DESARROLLO DEL LAZO DE CONTROL

El lazo de control de este esquema se basa en un circuito central o maestro gobernado por el microcontrolador 18F4550, operando en conjunto con su respectiva interfaz de visualización, para ello utilizamos dos displays LCD.

En los diseños del sistema de control, la manera clásica de realizar el análisis es separando la parte operativa de la sección de control.

La parte operativa es la que actúa directamente sobre la planta, es decir son los elementos que hacen que se ejecute un trabajo, o para este caso un proceso, y será la responsable de tomar las variables de temperatura accionando los actuadores correspondientes, también se implementó el circuito para el seguimiento del proceso aprovechando las ventajas que ofrecen los circuitos integrados microcontroladores de la familia PIC.

La sección de operación despliega un menú interactivo que sirve como una guía de ejecución del proceso que se comanda.

### 3.1.3.1 CONSOLA ELÉCTRICA

Esta interfaz ha sido diseñada y realizada con los mismos componentes, circuitos y técnicas que se utilizan en el ámbito profesional.

En un laboratorio didáctico de control de procesos, este módulo representa el instrumento necesario para una formación de alto nivel sobre los temas teóricos y prácticos referentes a transductores de temperatura y acondicionadores de señal correspondientes para la calibración de instrumentos.

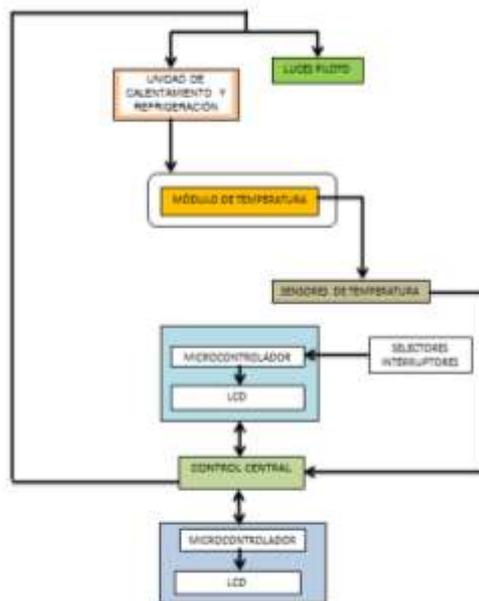


Figura 12. Sistema de adquisición de datos y control del controlador de temperatura.

### 3.1.4 CONSTRUCCIÓN MECÁNICA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS CORRESPONDIENTES A LA SECCIÓN PARA EL CONTRASTE DE TEMPERATURA.

La estructura que aloja toda la instrumentación, circuitos e interfaz de operación se instala en un banco tipo mesa, con esto reproducimos el patrón que se utiliza en los laboratorios de instrumentación mundiales.



Figura 13. Banco de alojamiento para contraste de las variables físicas temperatura y presión.

El banco consta de doble plafón lateral para el montaje de los equipos electrónicos, está pintado con fondo fosfatizante gris y terminado con pintura sintética de secado rápido color Rally 65, en la parte superior consta de tres planchas individuales, en la parte interna se aloja un ventilador con la finalidad de extraer el aire caliente en el interior del equipo.

Los materiales utilizados para el armazón de la estructura fueron:

- Tubos cuadrados metálicos de 1" de 2mm de espesor.
- Platinas de 1mm de espesor.
- Planchas de acero.

Las dimensiones del banco son:

Tabla 3.

ALTO	ANCHO	FONDO
72.5	120	44

Nota: Los valores están dados en centímetros.

### 3.1.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES CORRESPONDIENTE A LA SECCIÓN PARA EL CONTRASTE DE TEMPERATURA.

En la siguiente tabla se muestra la carga instalada del banco de instrumentación.

Tabla 4.

Descripción	Voltaje de servicio	Potencia de consumo
Elemento calefactor	120 VAC	300 W
Elemento de refrigeración	120 VAC	10W

Nota: Está garantizado la protección del equipo ya que la carga está energizada independientemente y gobernada por un interruptor termomagnético de 6 Amp.

#### 3.1.4.1.1 Alimentación del equipo

El suministro de energía eléctrica es monofásico a 120 Vac 60Hz correspondiente a la energización general del banco, activación de la carga instalada y alimentación de fuentes de voltaje, para la instrumentación el voltaje es de 24Vdc.

La conexión se complementa por medio de tomas y enchufes tipo clavija empotrables.



Figura 14. Enchufe de energización 2P-16A.

Fuente: Omron. (2014). Catálogo de productos. Sitio web: [www.eeinsa.com](http://www.eeinsa.com)

Después de conectar la línea de abastecimiento se procede a dar paso de energía por medio de un interruptor termomagnético.



Figura 15 .Interruptor termomagnético de protección general.

Los interruptores termomagnéticos se utilizan, en primer término, para proteger contra sobrecargas y cortocircuitos a los cables y conductores eléctricos. De esa manera asumen la protección de medios eléctricos contra calentamientos excesivos.

Ahora podemos contar con el abastecimiento necesario de energía también en las fuentes de alimentación con lo que quedan habilitados los dispositivos de maniobra para su operación.

Como fuentes de alimentación estamos empleando las siguientes:

- SITOP power 5 versión 24Vdc en la salida.
- Placa madre de PC ATX; polarización de amplificadores OPAMP.
- Cargador D-Link versión 5Vdc; polarización de microcontrolador módulo de temperatura.



Figura 16. Fuentes de alimentación para polarización de sensores y alimentación de circuitos de control en el banco de instrumentación.

SITOP Smart es una potente fuente de alimentación estándar para máquinas e instalaciones automatizadas con electrónica de 24V. A pesar de su diseño compacto, ofrecen un excelente comportamiento de sobrecarga, puesto que su intensidad nominal permite que se conecten sin problemas consumidores de alto consumo, además gracias a su posibilidad de uso permanente, estas fuentes son de las más fiables de su categoría.

### 3.1.4.1.2 Dispositivos de maniobra y gabinete de control.

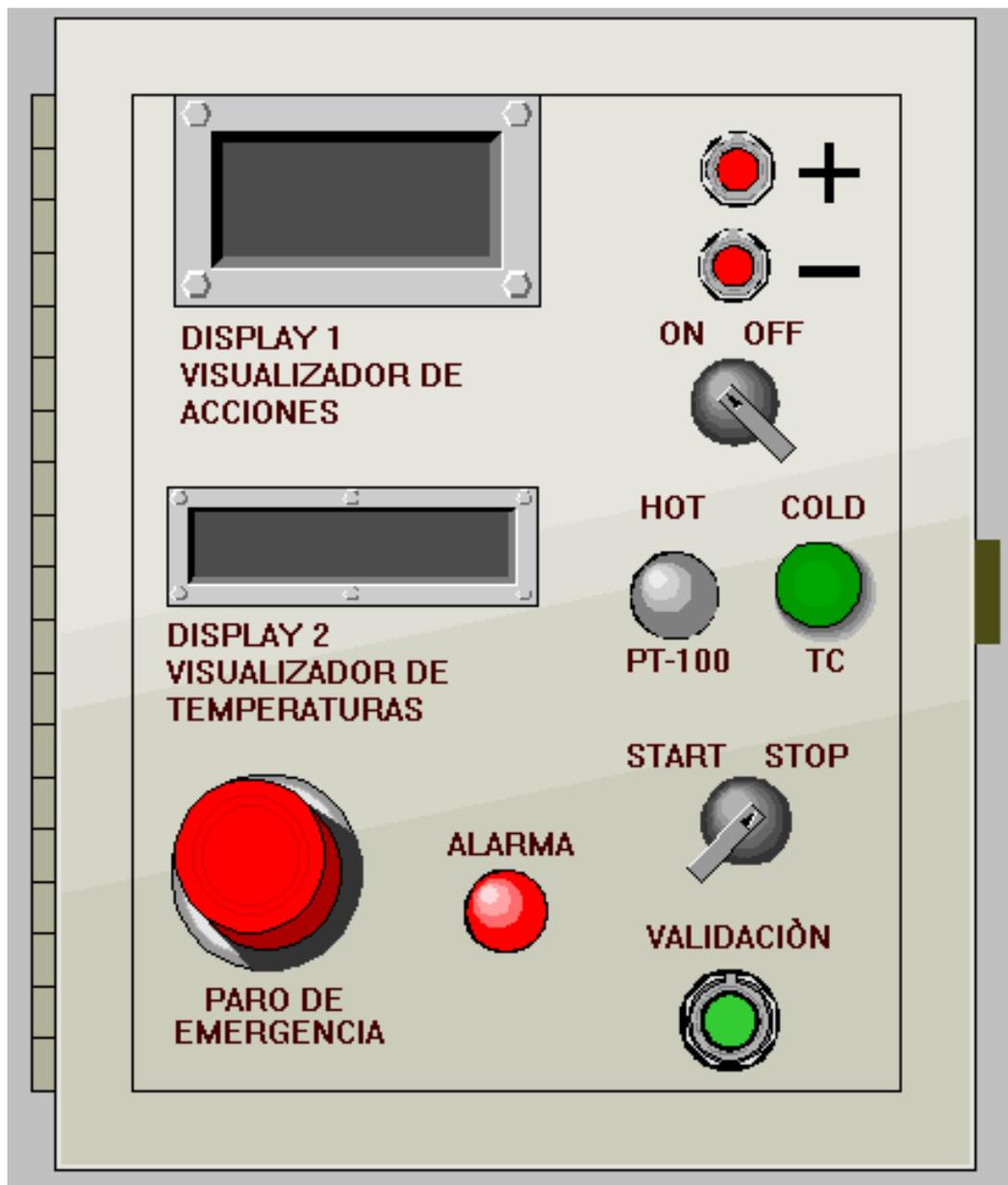


Figura 17 .Tablero de mando del controlador de temperatura.

El tablero de gobierno del módulo de temperatura consta de los siguientes elementos:

Como dispositivos de maniobra dispone de dos selectores, que son los encargados de encender la sección de temperatura (SELECTOR ON-OFF) y ejecutar el inicio del proceso cuando se va a proceder al contraste del elemento bajo prueba (SELECTOR START-STOP).



Figura 18 .Dispositivo de maniobra selector. Los interruptores de selección de estilo perilla proveen a los usuarios un método confiable para poner en marcha la maquinaria o seleccionar una operación.

Fuente: Omron. (2014). Catálogo de productos. Sitio web: [www.eeinsa.com](http://www.eeinsa.com)

Así mismo existen tres pulsadores que son vitales en el desarrollo e interacción con la parametrización del equipo ya que servirán para seleccionar el tipo de sensor que se empleara para la prueba y el ajuste de la temperatura de referencia en la unidad de calefacción y refrigeración (PULSADOR ++ y PULSADOR --) por consiguiente el restante es el encargado de validar la información con que se está configurando el equipo (PULSADOR VALIDACIÓN).



Figura 19. (a) Dispositivo de maniobra pulsador validación (b) Dispositivo de maniobra pulsadores ++ y --.

Fuente: Omron. (2014). Catálogo de productos. Sitio web: [www.eeinsa.com](http://www.eeinsa.com)

También se incorpora un interruptor de parada de emergencia tipo hongo para la deshabilitación de toda la unidad si se presentará un problema durante su funcionamiento.



Figura 20. (a) Dispositivo de maniobra interruptor de parada de emergencia  
Fuente: Omron. (2014). Catálogo de productos. Sitio web: [www.eeinsa.com](http://www.eeinsa.com)

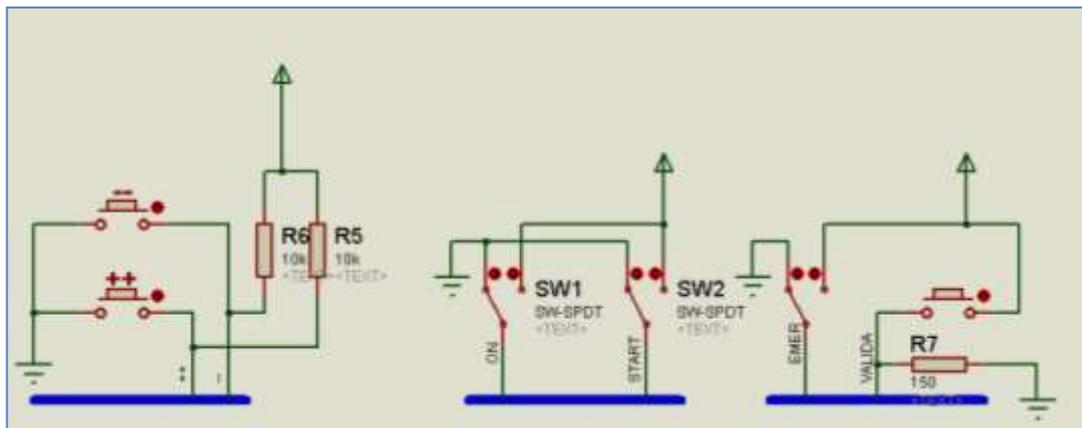


Figura 21 .Circuito eléctrico de dispositivos de maniobra del controlador de temperatura.

Las luces piloto indican el estatus de la maquinaria y los procesos en el panel de control.

En este banco están etiquetadas de la siguiente manera:

- Luz piloto de color blanco: Tipo de sensor Pt100 seleccionado.
- Luz piloto de color verde: Tipo de sensor termocupla seleccionado.
- Luz piloto de color amarillo: Proceso de calefacción activo.
- Luz piloto de color azul: Proceso de refrigeración conectado.
- Luz piloto de color rojo: Señal de alarma paro de emergencia activado.



Figura 22 .Luces piloto.

Fuente: Omron. (2014). Catálogo de productos. Sitio web: [www.eeinsa.com](http://www.eeinsa.com)

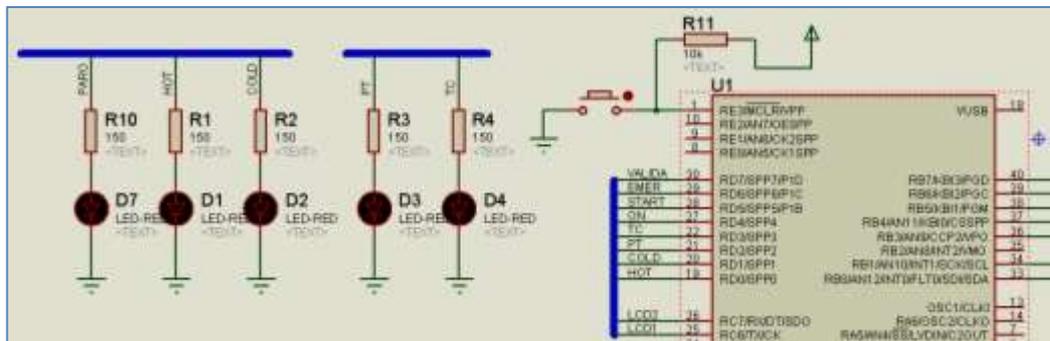


Figura 23. Circuito eléctrico de indicadores luminosos.

Para el seguimiento, comando y medio de interfaz gráfico entre la consola eléctrica y el usuario se han montado dos display LCD de 4x20 y 2x16 designados como:

Display 1: Visualizador de acciones. Consta de 4 líneas donde se despliega una lista indicando en que etapa del proceso de calibración se encuentra el proceso, también indica el tipo de sensor que se está contrastando y por consiguiente la temperatura de fijación a la que se realizará la prueba.

Display 2: Visualizador de temperaturas. En este display se emplean las 2 líneas para visualizar la temperatura real paso a paso que detecta el sensor patrón y a su vez la temperatura leída por el elemento que se encuentra bajo prueba.

TSP = Temperatura sensor patrón.

TEBP = Temperatura elemento bajo prueba.



Figura 24. Foto real de los LCD 2x16 y 4x20.

#### 3.1.4.1.3 Dispositivos detectores

Como dispositivos detectores que enmarcaremos en esta sección están los termopozos con una longitud de 18.5 cm con vaina de acero inoxidable y bulón con rosca tipo NPT de  $\frac{3}{4}$ ".

Los modelos empleados en los sensores tenemos:

- Termopar tipo J modelo IRCO-005
- RTD Pt100K2515.



Figura 25. Dispositivos detectores.

#### 3.1.4.1.4 Dispositivos actuadores

El principal actuador para el desarrollo de este banco de pruebas es el elemento calefactor representado por una resistencia de tipo industrial de 300w de potencia calorífica y como elemento de corrección estamos empleamos un ventilador de refrigeración.

Estas resistencias eléctricas proporcionan una mayor transferencia uniforme de calor y están construidos herméticamente aumentando considerablemente la vida de las resistencias al evitar la oxidación del hilo calefactor incluso a altas temperaturas.



Figura 26 .Dispositivos actuadores carga instalada.

Para la activación del elemento calefactor y el dispositivo de refrigeración se emplea una tarjeta de interface, esta fue seleccionada por el grado de aislamiento galvánico que posee para su maniobra.

EL OPTOTRIAC. (MOC 3011). Este dispositivo es un conductor que funciona como un triac, está diseñado para ser la interfaz entre los controles electrónicos y el triac de poder, y así poder controlar las cargas de resistividad e inductancia para operaciones de voltaje alterno de 115 a 240 voltios.

Debido a estas características se ha tomado la decisión de emplearlo en el diseño del prototipo ya que cumple satisfactoriamente con los requisitos de seguridad que pretende el diseño.

Como elemento central de gobierno emplea el dispositivo semiconductor TRIAC BT151A capaz de manejar cargas de hasta 15 amperios de consumo uno por cada conexión, se activa con 5 voltios en los terminales X1 y X3.

Este dispositivo semiconductor será el encargado de controlar los periodos de conducción o disparos de corriente que se enviara al elemento resistivo o ventilador de refrigeración. El triac sólo se utiliza en corriente alterna y al igual que el tiristor, se dispara por la compuerta.

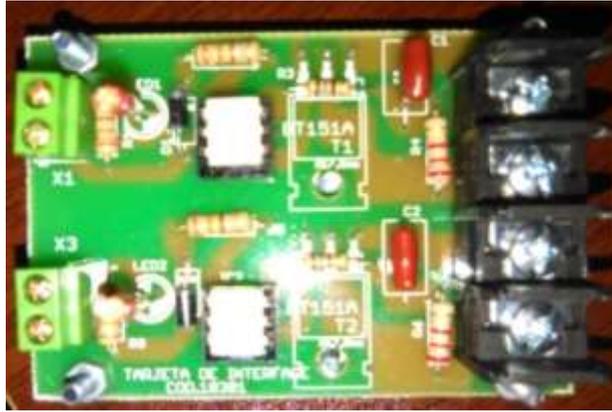


Figura 27 .Tarjeta de gobierno de la carga instalada

Se utilizan borneras Legrand de riel para las conexiones de generales de los conductores de fuerza y control.



Figura 28 .Borneras de conexión.

### **3.1.5 INTERFAZ PARA TRANSDUCTORES.**

Cada una de las interfaces se encarga de acondicionar la señal que proviene del transductor empleado. Cada uno de los transductores requiere de una etapa que acondicione la señal proveniente de ellos a un nivel adecuado para su manejo.

En nuestro prototipo hemos empleado transductores fabricados por OMEGA, ya que son de fácil adquisición en nuestro país, además de que se cuenta con todas las especificaciones técnicas.

Cada uno de los transductores se acopla al propio transmisor de temperatura analógico acondicionando la señal proveniente de ellos a un nivel adecuado para su manejo.

### 3.1.5.1 ACONDICIONADOR DE SEÑAL DE LOS TRANSDUCTORES DE TERMOPAR TIPO J Y TIPO K.

Como la fem termoeléctrica es muy baja, se deben tomar consideraciones especiales en este caso, de manera que podamos reducir perturbaciones que afecten la medición.

La función de este acondicionador, es la de elevar la tensión de salida y hacer una compensación de la unión fría del termopar.

El transmisor analógico de la serie TMT181 de la marca FEMA tiene una fiabilidad, precisión y estabilidad sin igual; este dispositivo posee la capacidad de transferir las señales de elementos resistivos o termopares en una señal de salida estandarizada usada para procesos de medición en el orden de 4 a 20 mA.



Figura 29 .Transmisor analógico TMT181 para termopar.

Fuente: Catálogo de partes Fema. (2009).Datasheet del dispositivo TMT181. Sitio web: [www.fema.com](http://www.fema.com)

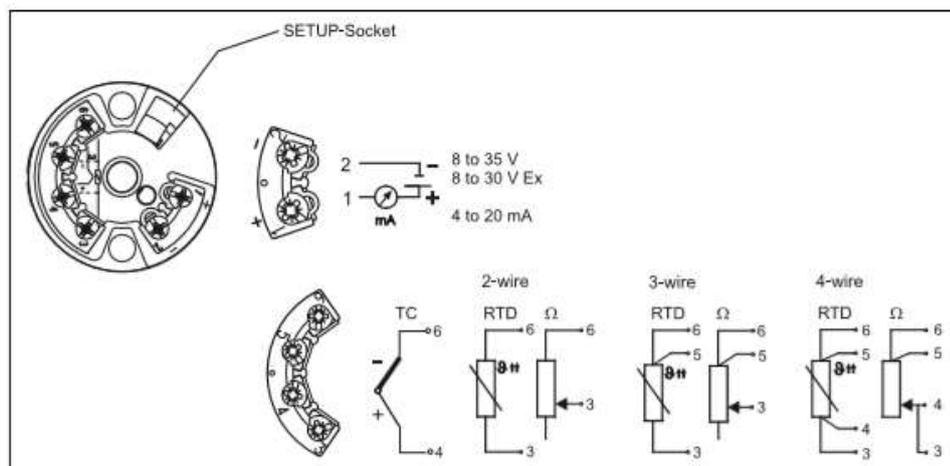


Figura 30. Vista de la disposición de los terminales para transmisor analógico TMT181. Fuente: Catálogo de partes Fema. (2009).Datasheet del dispositivo TMT181. Sitio web: [www.fema.com](http://www.fema.com)

### 3.1.5.1.1 CONVERTIDOR DE CORRIENTE A TENSIÓN

También llamados amplificadores de transresistencia. Responden a la necesidad de construir fuentes de tensión constante independiente de la carga y controlados por corriente.

El diagrama completo de una entrada de señal de corriente se observa en el siguiente gráfico.

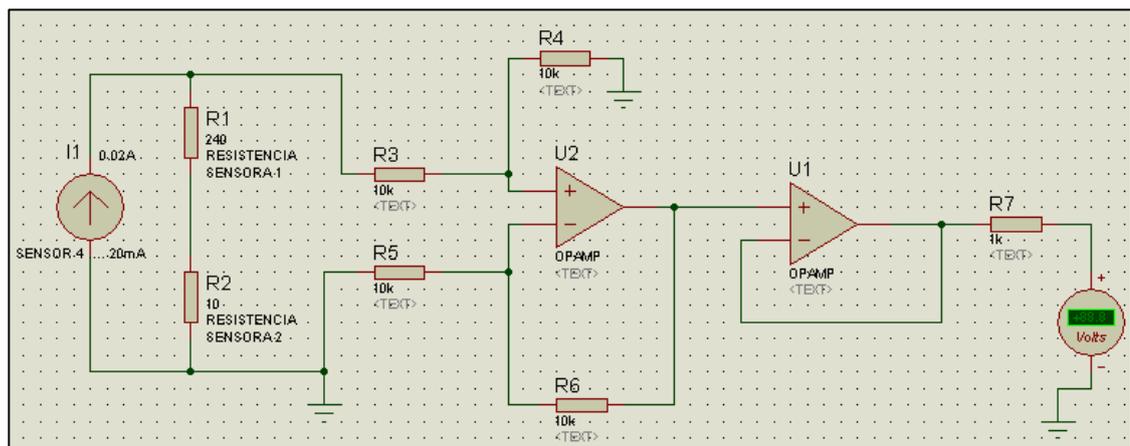


Figura 31 .Convertidor de corriente a voltaje para entrada en microcontrolador.

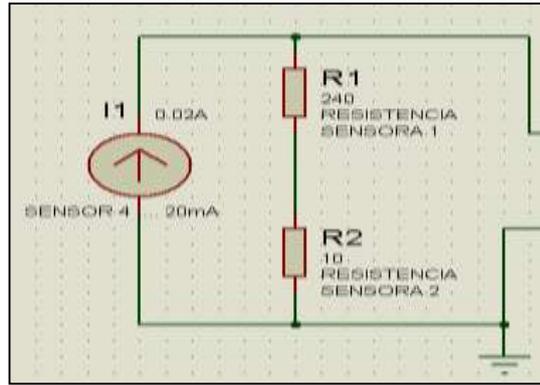
Descripción del circuito correspondiente al convertidor de corriente a voltaje de la figura 31. Este circuito se lo analiza en tres partes esenciales denominadas:

- Resistencia sensora de corriente.
- Amplificador diferencial.
- Circuito Emisor-Seguidor.

#### RESISTENCIA SENSORA DE CORRIENTE.

El circuito de sensado de corriente utiliza una resistencia sensora en serie a la salida para determinar la cantidad de corriente que circula por esta.

$$\begin{aligned}R_{\text{sensora}} &= 250 \Omega = 240 \Omega + 10 \Omega \\V_{\text{min}} &= 250 \Omega * 4 \text{ mA} = 1 \text{ [V]} \\V_{\text{max}} &= 250 \Omega * 20 \text{ mA} = 5 \text{ [V]}\end{aligned}$$



Nota: Voltaje inducido de la señal de corriente al pasar por las resistencias sensoras

Figura 32. Circuito sensor de corriente.

### AMPLIFICADOR DIFERENCIAL.

El circuito amplificador diferencial tiene como objetivo tomar la señal del sensor de modo diferencial y eliminar el efecto de corrientes inducidas que alteren la señal del sensor, ya que no se requiere amplificar la señal, la ganancia del amplificador es de uno.

El voltaje de salida viene dado por la siguiente expresión:

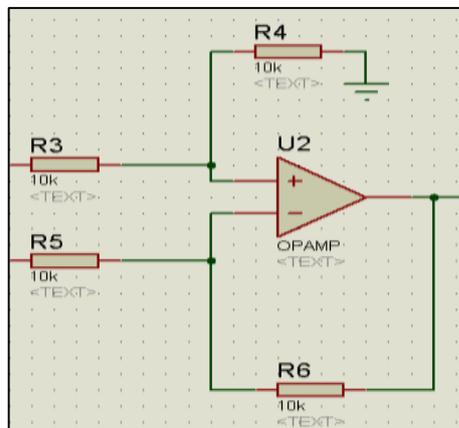
$$V_o = V_{in(+)} \left( \frac{R_3}{(R_3 + R_1)} \right) \left( 1 + \frac{R_4}{R_2} \right) - V_{in(-)} \left( \frac{R_4}{R_2} \right)$$

$$V_o = V_{in(+)} \left( \frac{10[K\Omega]}{(20[K\Omega])} \right) \left( 1 + \frac{10[K\Omega]}{10[K\Omega]} \right) - V_{in(-)} \left( \frac{10[K\Omega]}{10[K\Omega]} \right)$$

$$V_o = V_{in(+)} \left( \frac{1}{2} \right) (2) - V_{in(-)} \left( \frac{1}{1} \right)$$

$$V_o = V_{in(+)} - V_{in(-)}$$

Nota: Ingresas el voltaje inducido de la señal de corriente al pasar por las resistencias sensoras



Señal filtrada sin ruido

Figura 33 .Circuito amplificador diferencial.

## CIRCUITO EMISOR SEGUIDOR.

La función de este circuito es acoplar las impedancias de los circuitos de acondicionamiento con la señal analógica digital del microcontrolador. El circuito de emisor seguidor tiene una ganancia igual a uno.

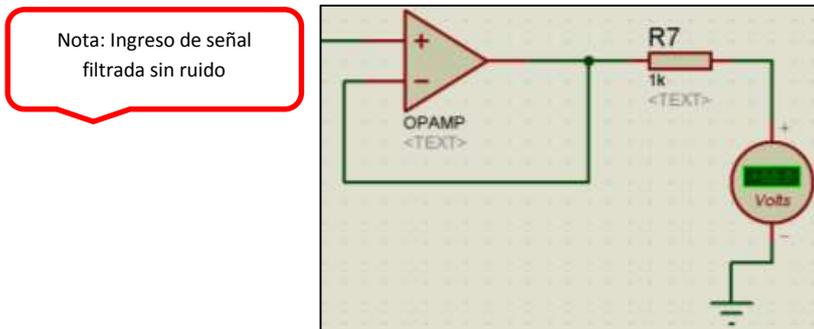


Figura 34 .Circuito emisor seguidor.

### 3.1.5.2 ACONDICIONADOR DE SEÑAL PARA EL TRANSDUCTOR PT100.

Los transmisores analógicos de la serie T19 de la marca Wika están dotados con rangos configurables y previstos para la aplicación con termorresistencias. Con la colocación de puentes de soldadura puede seleccionarse de manera sencilla un rango de medición. Por eso los transmisores están adecuados para usuarios que deben reaccionar a corto plazo a cambios de exigencias.

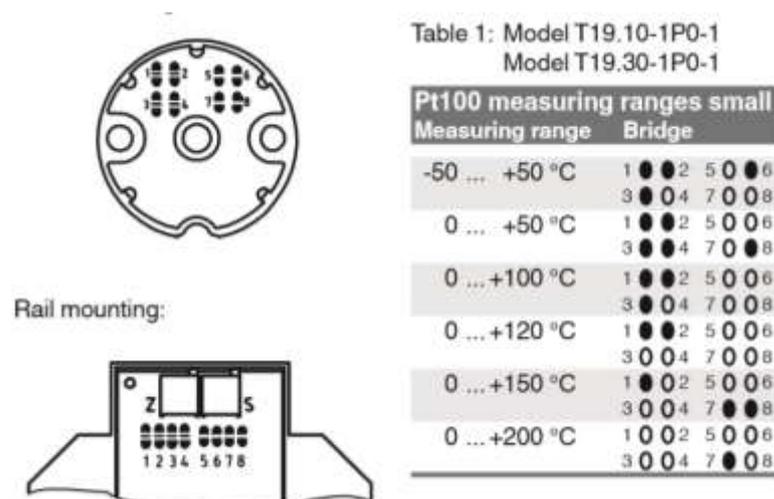


Fig. 35. Puentes de soldadura para configuración de transmisor analógico T19.10-1.

Fuente: Catálogo de partes WIKA. (2013). Datasheet del dispositivo T19.10. Sitio

web: [www.wika.com](http://www.wika.com)

Los transmisores de temperatura convierten la variación de la resistencia en función de la temperatura en una señal eléctrica de 4...20mA. Este modo permite la transmisión de los valores de temperatura de manera segura y sencilla.

La precisión, la monitorización y las condiciones ambientales admisibles están adaptadas a las exigencias de aplicaciones industriales.



Figura 36 .Transmisor analógico T19.10-1.

Fuente: Catálogo de partes Wika. (2009).Datasheet del dispositivo T19.10.1. Sitio web: [www.wika.com](http://www.wika.com)

### 3.1.5.2.1 ASIGNACIÓN DE LOS BORNES DE CONEXIÓN

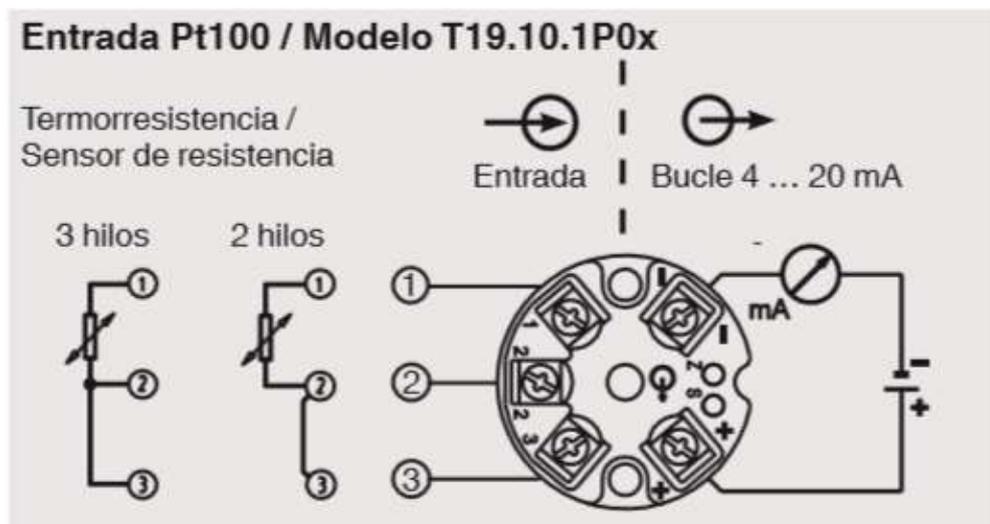


Figura 37 .Asignación de bornes de conexión en transmisor analógico T19.10-1.  
Fuente: Catálogo de partes Wika. (2009).Datasheet del dispositivo T19.10.1. Sitio web: [www.wika.com](http://www.wika.com)

### 3.1.5.2 CONVERTIDOR DE CORRIENTE A TENSIÓN

Se utiliza un circuito equivalente al diseñado en la parte de adaptación del transductor para termocuplas ya que se requiere repetir una condición de salida en voltaje de las mismas características, el circuito está representado en la figura 31.

### 3.1.6 DESCRIPCIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA

La tarjeta o sistemas de adquisición de datos constan fundamentalmente de los circuitos de acondicionamiento de señal para las entradas de sensores, el circuito de control y de interfaz gráfica y los circuitos de manejo y acondicionamiento de las salidas.

La tarjeta de adquisición de datos tiene como fin recopilar los datos brindados por las señales de circuitos y sensores y acondicionarlas para que puedan ser adquiridas por los módulos de conversión analógico-digital del microprocesador, una vez que las distintas señales se encuentren digitalizadas estas serán procesadas y se enviarán las acciones de control a través de las distintas salidas implementadas.

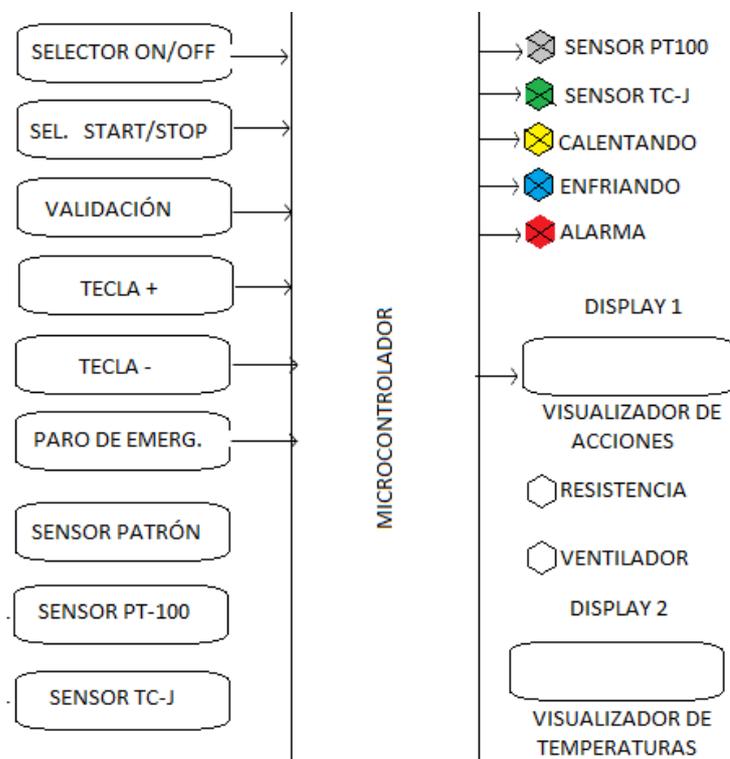


Figura 38 .Diagrama de bloques del controlador de temperatura.

### **3.1.6.1 EL MICROCONTROLADOR:**

Un microcontrolador es un circuito integrado programable el cual contiene todos los componentes de un computador. Una vez programado el CI sólo sirve para atender las tareas para las que ha sido programado.

Como se dijo anteriormente es el control de todo el sistema, para este proyecto se escogió el PIC de la familia 18F4550 de solo 40 pines. Éste es el encargado de manejar la variable física de temperatura, visualización y seguimiento del proceso por medio de dos LCD.

El entorno de desarrollo utilizado fue Code Warrior. El dispositivo diseñado evalúa una temperatura, la compara con un rango predeterminado y actúa en consecuencia.

Para comenzar debemos estudiar el PIC y según nuestro diseño distinguir entre entradas y salidas. Por supuesto, hay que saber las diferentes zonas del mismo según la numeración de sus puertos.

El PIC, además almacenará dos temperaturas umbrales previamente definidas, que indican la temperatura máxima permitida así como la mínima, de manera que al llegar a una de estas el PIC nos llevará a un circuito o a otro.

Por su parte, el display nos marcará en todo momento la temperatura a la que nos encontramos, leyendo la información obtenida directamente del PIC y ajustada según el sensor.

Hay dos circuitos diferentes, el de refrigeración y el de calefacción. Al llegar a una de las temperaturas umbrales activamos uno de los dos circuitos:

Si la temperatura es baja, activamos el circuito de calefacción el cual activará un LED amarillo (simulando calor) y el relé conectado a esta parte del circuito dará corriente permitiendo la conexión de una resistencia calefactora.

Si la temperatura es alta, activamos el circuito de refrigeración, el cual activará un LED azul y el relé conectado a esta parte del circuito dará corriente permitiendo la conexión de un ventilador.

Se seleccionó este microcontrolador porque, para su reducido tamaño, es muy versátil, es un dispositivo de bajo costo y posee todos los módulos que para este diseño se necesitan, lo que lo convierte en idóneo para este desarrollo.

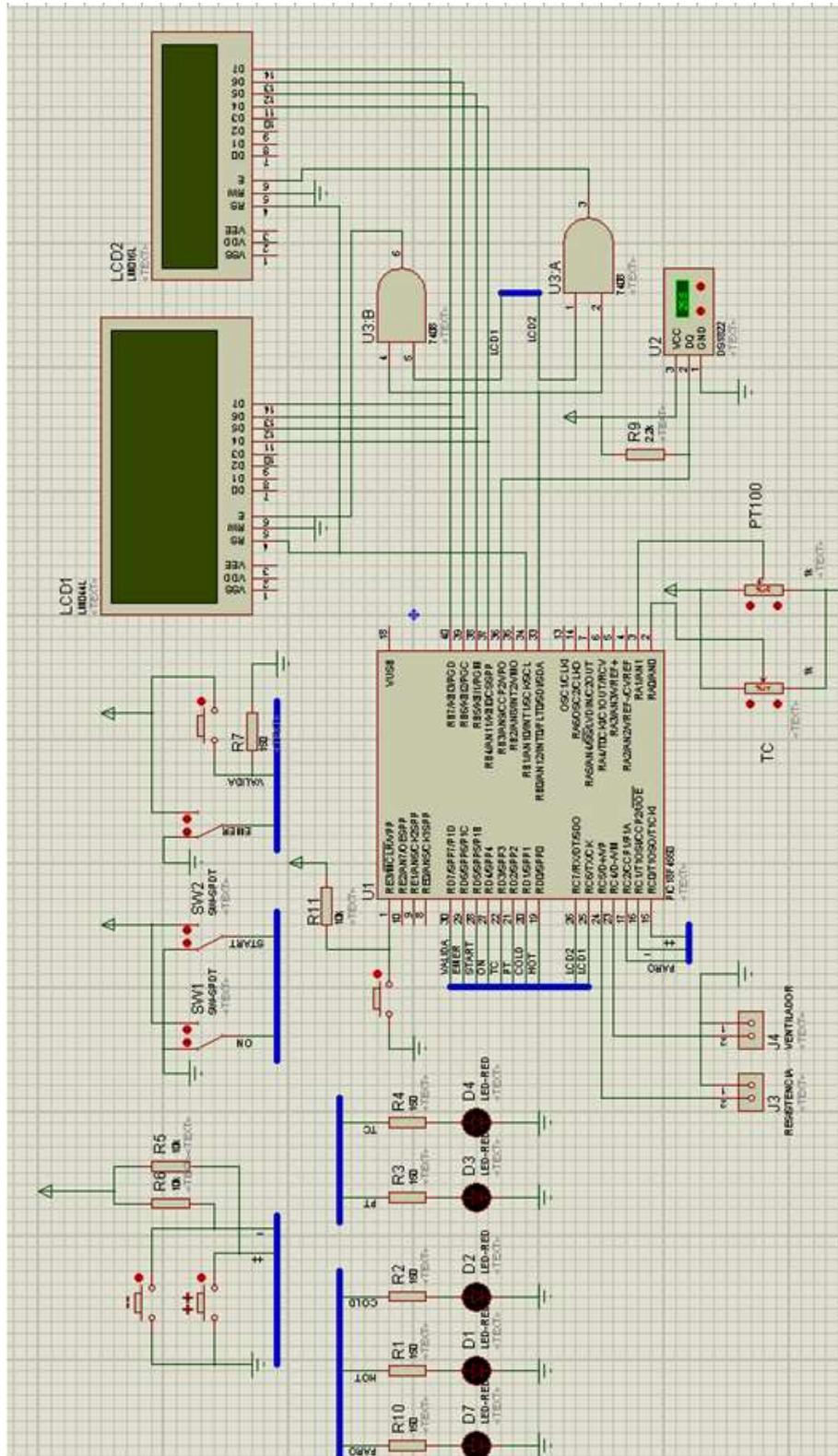


Figura 39. Diseño del circuito eléctrico - electrónico del controlador de temperatura.

### 3.1.6.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Como dispositivos de maniobra dispone de dos selectores, que son los encargados de encender la sección de temperatura y ejecutar el inicio del proceso cuando se va a proceder al contraste del elemento bajo prueba.

#### 1.- ENCENDER DEL SELECTOR ON-OFF

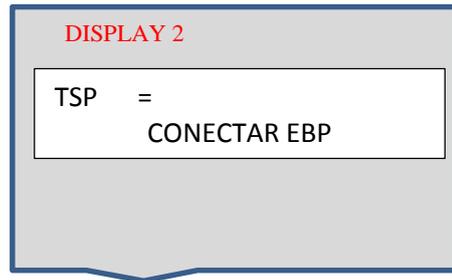
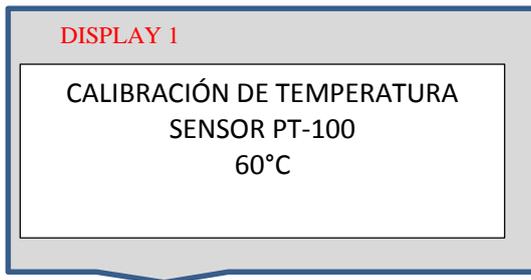


Así mismo existen tres pulsadores que son vitales en el desarrollo e interacción con la parametrización del equipo ya que servirán para seleccionar el tipo de sensor que se empleara para la prueba y el ajuste de la temperatura de referencia en la unidad de calefacción y refrigeración por consiguiente el restante es el encargado de validar la información con que se está configurando el equipo.

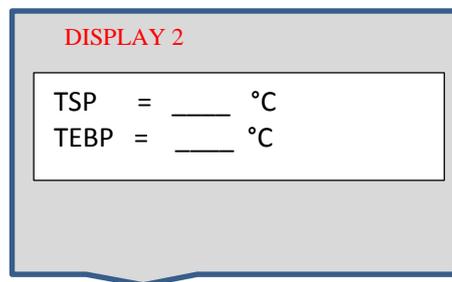
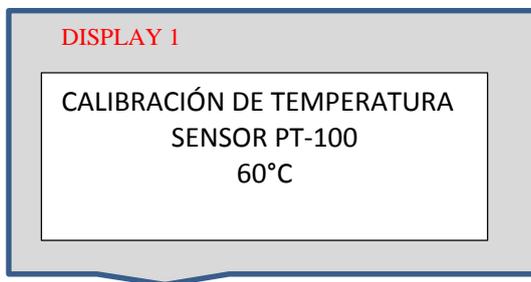
#### 2.- SE SELECCIONA EL TIPO DE SENSOR CON LOS PULSADORES (+) PARA ESCOGER PT-100 Y (-) PARA SELLERCCIONAR LAS TERMOCUPLAS, SEGUIDO DEL PULSANTE DE VALIDACIÓN. DES ESTA MANERA SE INDICA SOBRE LA CUBIERTA FRONTAL DEL TABLERO DE CONTROL CUAL ES EL TIPO DE SENSOR QUE SE ENCUENTRA BAJO PRUEBA.



#### 3. CON LOS PULSADORES (+) Y (-) SE AJUSTA LA TEMPERATURA QUE DESEAMOS FIJAR PARA ACTIVAR EL ELEMETO DE CALENTAMIENTO O REFRIGERACIÓN, SEGÚN EL CASO; SEGUIDO DEL PULSANTE DE VALIDACIÓN.



4.- CON EL SELECTOR DE STAR-STOP SE INICIA EL PROCESO INDICANDOSE CON DOS LUCES PILOTO QUE SE ENCUENTRAN INSTALADAS EN LA UNIDAD DE CALENTAMIENTO Y REFRIGERACIÓN.

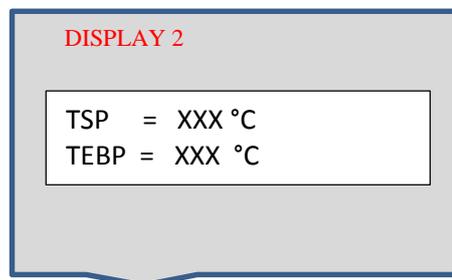
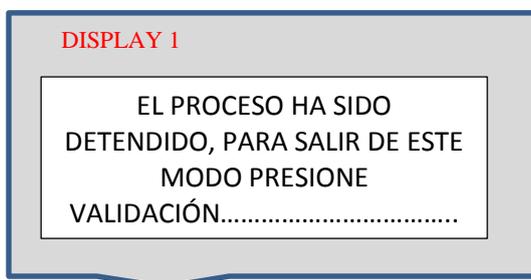


TSP = Temperatura sensor patrón

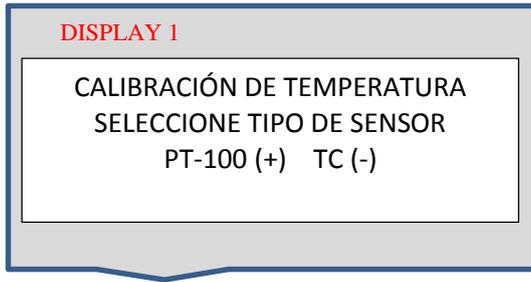
TEBP = Temperatura elemento bajo prueba

5.- LA RESISTENCIA INICIA EL PROCESO DE CALENTAMIENTO HASTA ALCANZAR LA TEMPERATURA FIJADA.

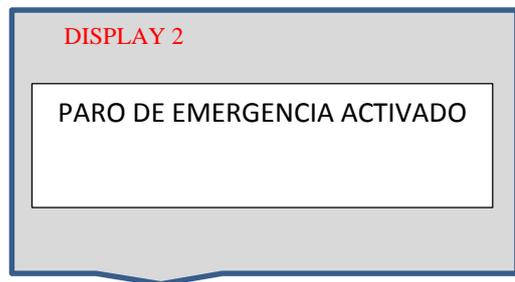
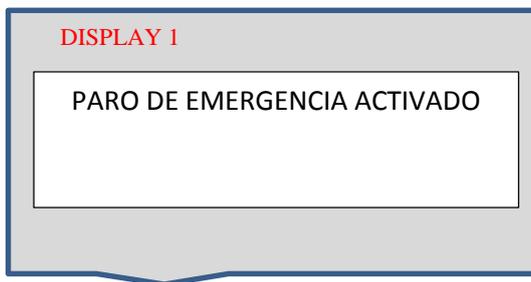
6.- PARA DETENER EL PROCESO SE CAMBIA LA POSICIÓN DEL SELECTOR START-STOP O SI DESEO CORREGIR VALORES D AJUSTE DE LA TEMPERATURA Y TAMBIEN EL TIPO DE SENSOR.



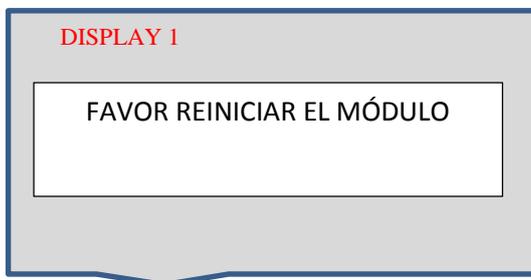
7.- AL PRESIONAR EL PULSANTE DE VALIDACIÓN SE REINICIA EL SALVAPANTALLAS.



8.- AL ACTIVAR LA BOTONERA DE PARO DE EMERGENCIA EN CUALQUIER INSTANTE DEL PROCESO SE INVALIDA TODA LA SECCIÓN DE MANIOBRA.



9.- DESPUES DE LIBERAR EL PARO DE EMERGENCIA.



El software es un punto muy importante, en el desarrollo de este módulo se utilizó Proteus versión 7.6 que es de muy buena ayuda para realizar las pruebas de simulación y ejecución de los artes para su posterior revelación en la tarjeta madre.

Al culminar este proyecto es posible constatar que un diseño electrónico es un factor muy importante para conseguir un circuito sin fallas en el momento de su aplicación.

### 3.1.6.3 DISEÑO DE LA TARJETA ELECTRÓNICA DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA EN ARES 7.5.

Las placas de circuitos impresos fueron diseñadas y ruteadas en el programa ARES versión 7.5 en el cual es posible obtener también los planos de tierra necesarios para que el circuito induzca ruido, de esta manera se concluyó este trabajo sin mayores novedades, a continuación se muestran los diagramas:

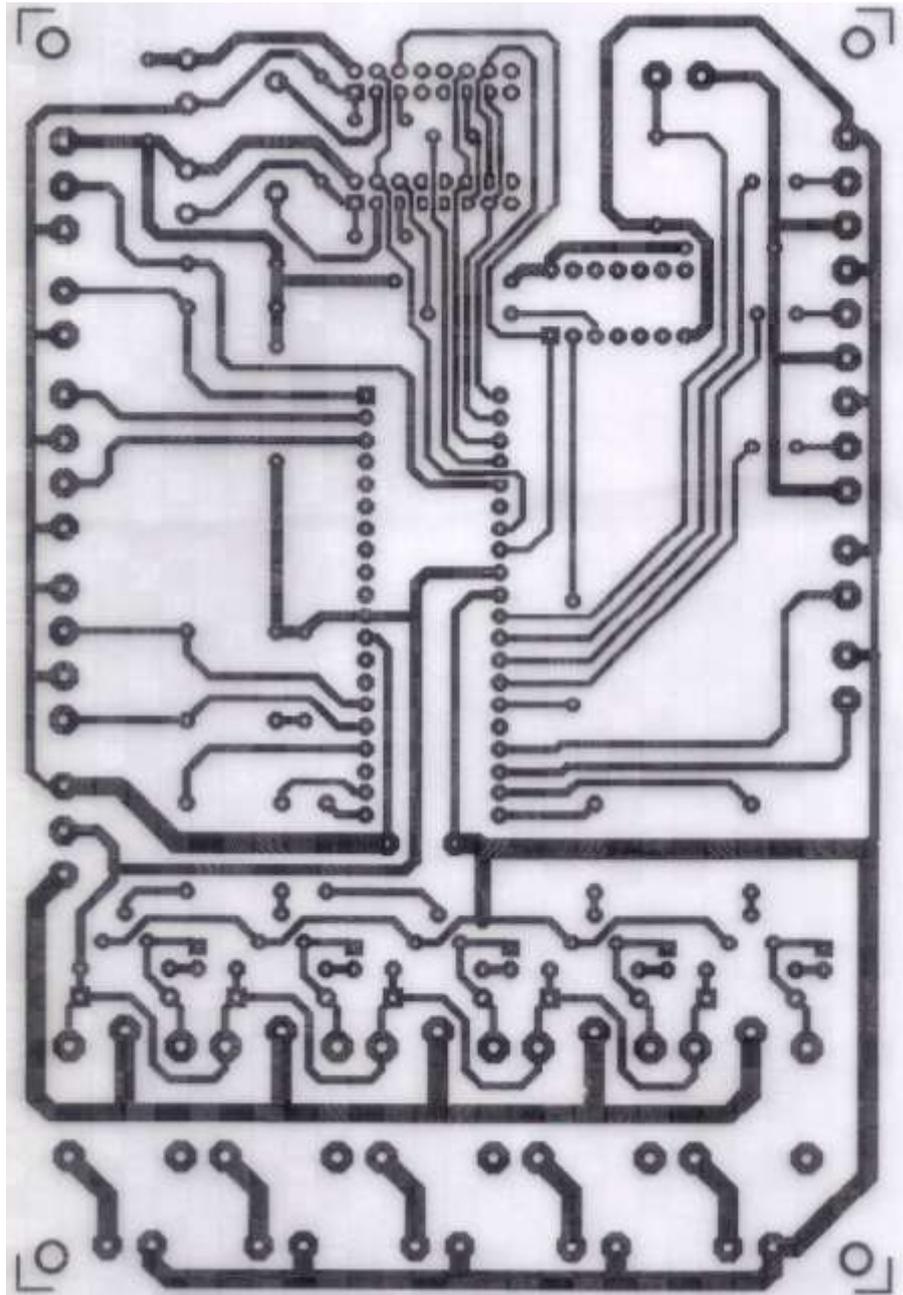


Figura 40. Diseño del arte del controlador de temperatura vista posterior.

### 3.1.6.4 AJUSTES Y PRUEBAS DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO.

Los ajustes y pruebas del circuito electrónico se realizaron una vez que este estuvo ya listo. Se requirió hacer ajustes en el programa para recibir los datos en el PIC, de esta manera se consiguió que el circuito se comporte tal como estuvo en el simulador y protoboard.

Todos estos ajustes y pruebas nos garantizan el correcto funcionamiento del sistema una vez instalado y puesto en marcha.

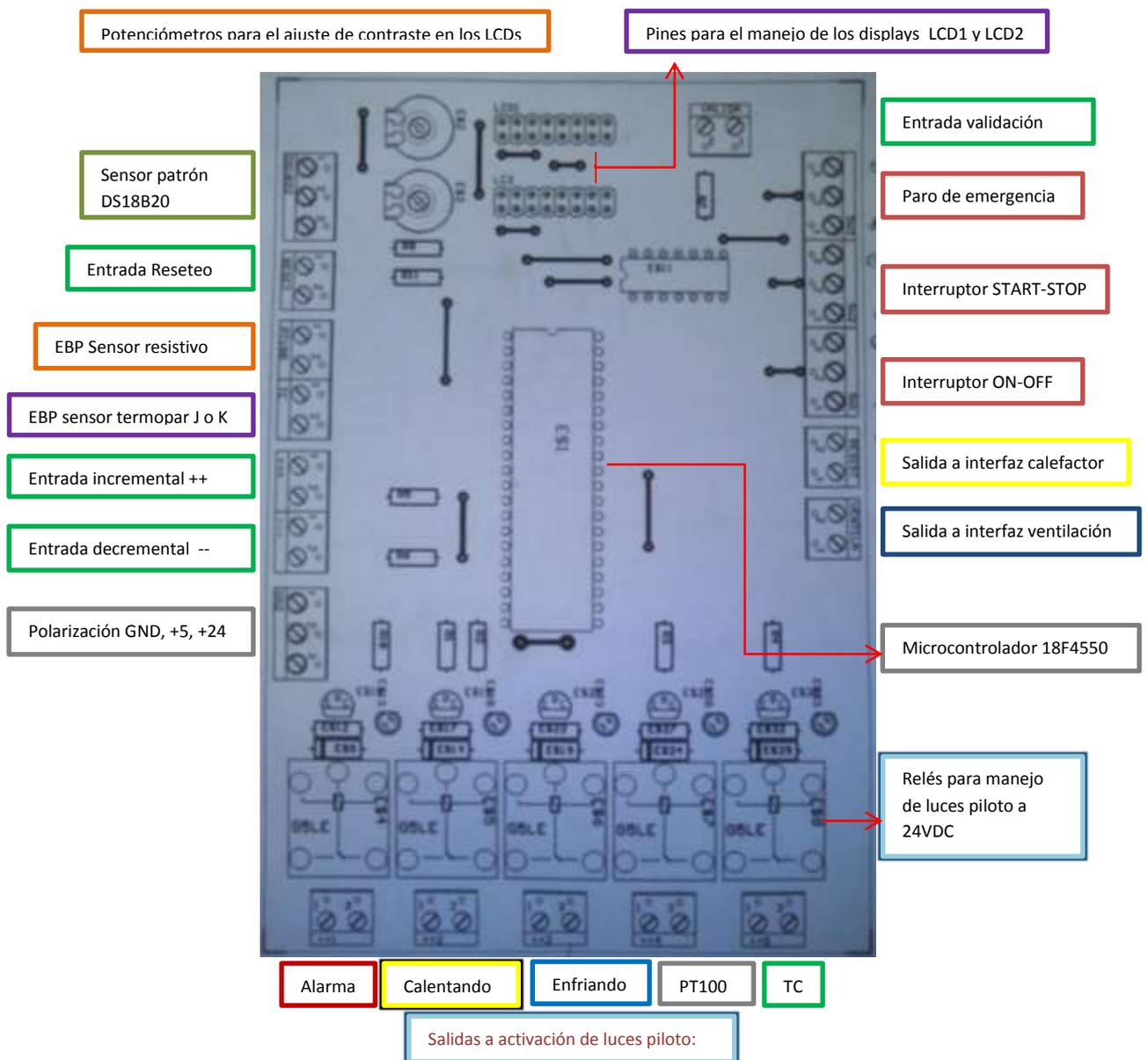


Figura 41. Vista superior de la placa madre del controlador de temperatura.

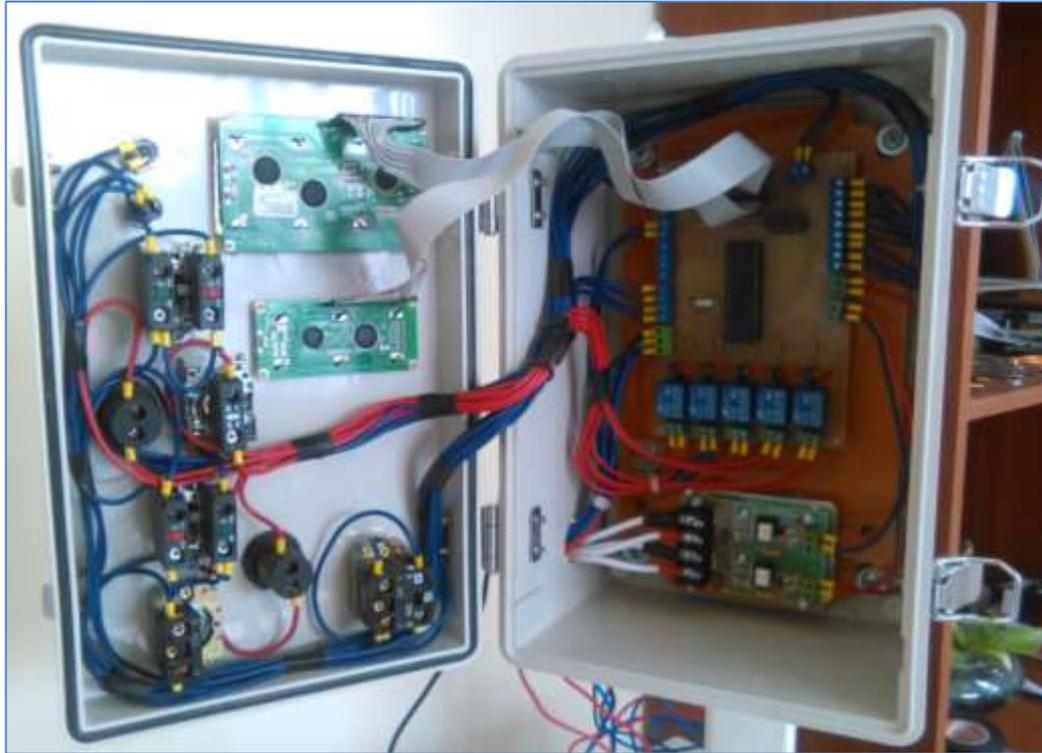


Figura 42. Vista de consola del controlador de temperatura estructura interna.

### 3.1.7 CÓDIGO FUENTE DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Este es el programa del microcontrolador desarrollado en Microcode Studio.

```
#include <18f4550.h> //tipo de microcontrolador
#device adc=10
#FUSES NOWDT, xt, NOPROTECT
#use delay (clock=4000000)

#include <D:\Tesis\Tesis Luis Sanchez\lwire_B3.c> //libreria
para comunicacion onewire
#include <D:\Tesis\Tesis Luis Sanchez\ds1820_B3.c> //libreria
para el manejo del sensor de temperatura
#include <lcd420.c> ////libreria para el manejo de la LCD
//#include <D:\Tesis\Tesis Luis Sanchez\lcd420.c> ////libreria
para el manejo de la LCD
#BYTE PORTB=0xf81 //asignacion del puerto b
#BYTE PORTC=0xf82 //asignacion del puerto C
//Codigo ds1820 #01
const int datos1[8]={40,116,79,102,4,0,0,219};
int banpt=1;
int temperatura=20;
```

```

void eleccion(void)
{
lcd_init();
        output_low(PIN_D3);
        output_high(PIN_D2);
        banpt=1;
lcd_gotoxy(1,1);
lcd_putc("CALIBRACION DE TEMP"); //mensaje de inicio
lcd_gotoxy(1,2);
lcd_putc("TIPO DE SENSOR");
lcd_gotoxy(1,3);
lcd_putc("PT100(+)          TC(-)");
        delay_ms(1000);
while(!input(PIN_D7)) //Valida
{
        if(!input(PIN_C0)) // Pulsador ++
        {
                output_low(PIN_D3);
                output_high(PIN_D2);
                banpt=1;
        }

        if(!input(PIN_C1)) // Pulsador --
        {
                output_high(PIN_D3);
                output_low(PIN_D2);
                banpt=0;
//        bit_set(bantc,0);
        }
}
}
void setpoint(void)
{
        lcd_gotoxy(1,1);
        lcd_putc("CALIBRACION DE TEMP"); //mensaje de inicio
        lcd_gotoxy(1,2);

        if (banpt==1) {
                lcd_putc("SENSOR PT100          ");
        }
        else {
                lcd_putc("SENSOR TC          ");
        }
        lcd_gotoxy(1,3);
        lcd_putc("AJUSTAR SETPOINT          ");

while(!input(PIN_D7)) //Valida
{
        lcd_gotoxy(1,4);
        printf(lcd_putc,"Temp= %d          ",temperatura);

        if(!input(PIN_C0)) // Pulsador ++
        {
                delay_ms(500);
                temperatura=temperatura + 1;
                if (temperatura > 90 ){

```

```

        temperatura=30;}
    }
    if(!input(PIN_C1))        // Pulsador --
    {
        delay_ms(500);
        temperatura=temperatura - 1;
        if (temperatura == 29 ){
            temperatura=90;}
    }
}

void visualiza(void)
{
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc("\f CALIBRACION        "); //mensaje de
inicio
    lcd_gotoxy(1,2);

    if (banpt==1) {
        lcd_putc("SENSOR PT100        ");}
    else {
        lcd_putc("SENSOR TC        ");
    }
    lcd_gotoxy(1,3);
    printf(lcd_putc,"Temp= %d        ",temperatura);
    output_bit(PIN_C6, 0);
    output_bit(PIN_C7, 1);
    lcd_init(); //inciializa la LCD
    delay_ms(100);
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc("Conecte sensor"); //mensaje de inicio
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc("Pulse START"); //mensaje de inicio
}

void leer_temp(void)
{
    int bhis=0;
    float temperature,temp;//variable float para almacenar el
valor de la temperatura
    int k=0;
    int16 data;
    k=1;

    temperature =
ds1820_read_slaveB3(datos1[0],datos1[1],datos1[2],datos1[3],da
tos1[4],datos1[5],datos1[6],datos1[7]); //lee la
temperatura
    temperature=temperature/8; // Temperature es la temp del
PATRON
    lcd_gotoxy(1,1); //posiciona el cursor
    printf(lcd_putc,"T. PATRON: %2.1f ", temperature);
//presenta la temperatura en LCD

```

```

lcd_putc(178); //simbolo de grados
lcd_putc("C  "); //
  lcd_gotoxy(1,2);
set_ADC_channel(banpt);
data=read_adc();
temp=(data * 10 )/102;          // Temp es la temp del EBP
printf(lcd_putc,"T. SENSOR: %f",temp);

if (bhis==0)
{
  if((temperatura+2)>temperature)
  {
    output_low(PIN_C4);          // VENTILADOR OFF
    output_high(PIN_C5);        // RESISTENCIA ON
    output_low(PIN_D1);
    output_high(PIN_D0);
  }
  else
  {
    output_low(PIN_C5);          // RESISTENCIA OFF
    output_high(PIN_C4);        // VENTILADOR ON
    output_low(PIN_D0);
    output_high(PIN_D1);
    bhis=1;
  }
}
else
{
  if((temperatura-3)>temperature)
  {
    bhis=0;
  }
  else
  {
    output_low(PIN_C5);          // RESISTENCIA OFF
    output_high(PIN_C4);        // VENTILADOR ON
    output_low(PIN_D0);
    output_high(PIN_D1);
    bhis=1;
  }
}
}

void main()          //funcion principal
{

  set_tris_c(0b00000111); //configura el puerto c como salida
  set_tris_b(0b00000000); //configura el puerto b como salida
  PORTC=0;

  output_bit(PIN_C6, 1);
  output_bit(PIN_C7, 0);
}

```

```

    lcd_init(); //inciializa la LCD
    delay_ms(100);
    setup_adc(ADC_clock_internal);
    setup_ADC_ports(0x0C);
while (true) //bucle infinito
{
    eleccion();
    delay_ms(1000);
    setpoint();
    visualiza();
    while(!input(PIN_D5)); // Pulse START para continuar
    while(!input(PIN_D6)&& input(PIN_D5)) //leyendo temp
hasta que se pulse emergencia
    {
        // o se
deshabilite Start
        leer_temp();
    }
    output_bit(PIN_C6, 1);
    output_bit(PIN_C7, 1);
    lcd_init();
    if(input(PIN_D6))
    {
        lcd_gotoxy(1,1);
        lcd_putc("\f Paro de emergencia ");
        lcd_gotoxy(1,2);
        lcd_putc("Reiniciar");
        output_low(PIN_C4); // VENTILADOR OFF
        output_low(PIN_C5); // RESISTENCIA OFF
        output_low(PIN_D1); // PILOTO DE
VENTILADOR OFF
        output_low(PIN_D0); // PILOTO DE
RESISTENCIA OFF
        output_low(PIN_D2); // PILOTO DE PT100
        output_low(PIN_D3); // PILOTO TC
        while (true)
        {
            output_HIGH(PIN_C2);
            delay_ms(1000);
            output_low(PIN_C2);
            delay_ms(1000);
        }
    }
    else
    {
        lcd_gotoxy(1,1);
        lcd_putc("\f Proceso detenido");
        lcd_gotoxy(1,2);
        lcd_putc("Pulse Validacion");
        while(!input(PIN_D7));
    }
}
} //fin del programa

```

### 3.2 CALIBRADOR DE PRESIÓN

- Generador de presión.
- Manómetro tipo Bourdon.
- Sensor de presión tipo electrónico.
- Consola eléctrica con circuitería de acondicionamiento de señales.
- Racores y mangueras neumáticas.

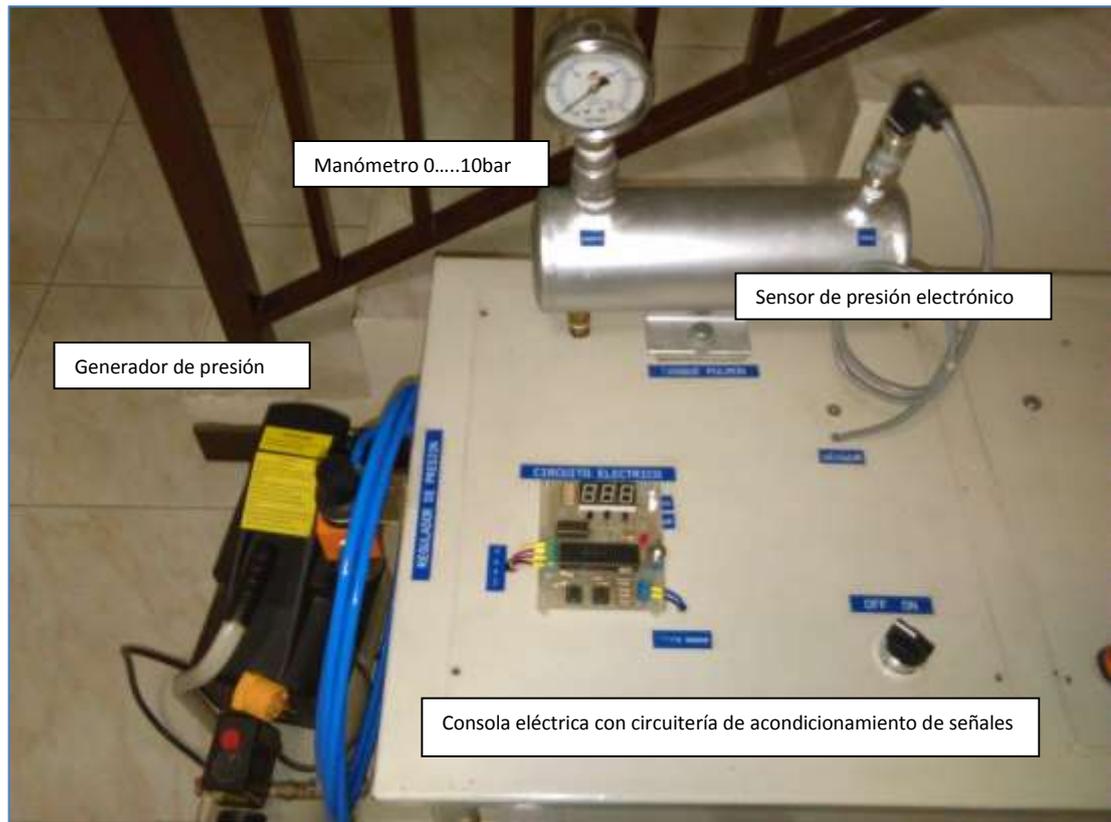


Figura 43. Calibrador de presión.

La consola eléctrica está diseñada e implementada de acuerdo a todos los conocimientos adquiridos durante el transcurso de esta carrera, afinando estos mismos con los adquiridos en el medio laboral en el que nos desenvolvemos.

Todas las fuentes de alimentación, circuitería de acondicionamiento de señales, etc., están alojadas en la consola eléctrica con dispositivos de protección adecuados y un interruptor diferencial para la protección del operador. La tensión de salida del sensor de presión es indicada en un medidor digital.

### 3.2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN.

El manómetro patrón y la bomba generadora de presión a usar en este procedimiento de calibración, conforman el calibrador de presión, tal como se muestra en la figura 43.

El manómetro bajo prueba se insertará en el alojamiento correspondiente y quedará sometido a una presión (la misma que el manómetro patrón) al presurizar el sistema.

El manómetro patrón dará la lectura de medida (real) y el manómetro bajo prueba la referencia, en definitiva realizaremos una calibración por comparación.

El banco diseñado para la calibración o contraste de elementos mecánicos de presión está constituido por los siguientes subconjuntos:

#### 3.2.1.1 CÁMARA DE PRESURIZACIÓN equipada con:

- Manómetro tipo Bourdon con un rango de 0 a 10 bar.
- Tomas y adaptadores para conectar los transductores de presión a calibrar.
- Válvula de purga y ajusta.



Figura 44. Cámara de presurización

**3.2.1.2 GRUPO DE PRESURIZACIÓN.-** Esta unidad está compuesta por cuatro componentes básicos:

- Bomba generadora de presión.
- Válvula antirretorno.

- Válvula de control direccional 2/2.
- Válvula limitadora de presión (seguridad).

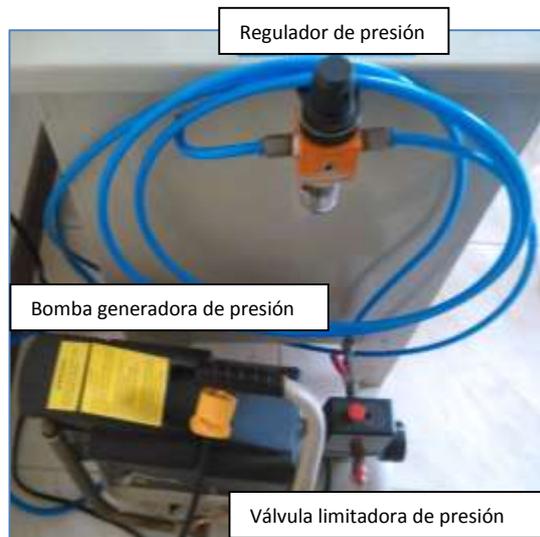


Figura 45. Grupo de presurización

**3.2.1.3 UNIDAD ELECTRÓNICA.-** Esta unidad está constituida por:

- Fuente de alimentación.
- Tarjeta de acondicionamiento de la señal de salida.

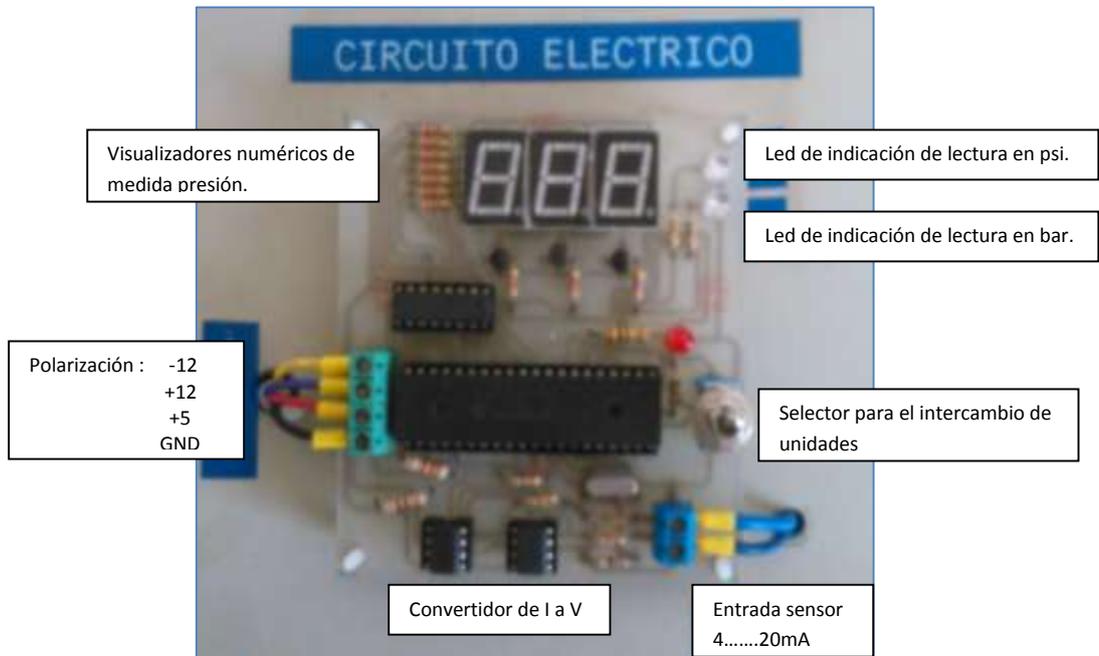


Figura 46. Medidor de presión digital.

### 3.2.2 DISEÑO DE LA UNIDAD ELECTRÓNICA DEL CALIBRADOR DE PRESIÓN.

La tarjeta de entrada de señal de corriente de 4mA a 20mA es la que se va a encargar de realizar el acondicionamiento adecuado de la señal y poder ingresarla al convertidor analógico del microcontrolador.

#### RESISTENCIA SENSORA DE CORRIENTE.

El circuito de sensado de corriente utiliza una resistencia sensora en serie a la salida para determinar la cantidad de corriente que circula por esta.

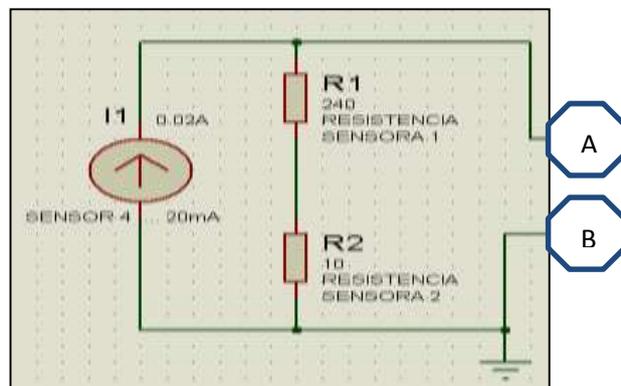


Figura 47. Acondicionamiento de señal analógica para medidor de presión.

Para efecto de dibujo se coloca una fuente de corriente como señal de entrada pero en el circuito esta corresponde a la señal generada por el transductor de presión en un rango entre 4...20mA.

$$R_{sensora} = 250 \Omega = 240 \Omega + 10 \Omega$$

$$V_{min} = 250 \Omega * 4 \text{ mA} = 1 \text{ [V]}$$

$$V_{max} = 250 \Omega * 20 \text{ mA} = 5 \text{ [V]}$$

#### AMPLIFICADOR DIFERENCIAL.

El circuito amplificador diferencial tiene como objetivo tomar la señal del sensor de modo diferencial y eliminar el efecto de corrientes inducidas que alteren la señal del sensor, ya que no se requiere amplificar la señal, la ganancia del amplificador es de uno.

El voltaje de salida viene dado por la siguiente expresión:

$$V_o = V_{in(+)} \left( \frac{R_3}{(R_3 + R_1)} \right) \left( 1 + \frac{R_4}{R_2} \right) - V_{in(-)} \left( \frac{R_4}{R_2} \right)$$

$$V_o = V_{in(+)} \left( \frac{10[K\Omega]}{(20[K\Omega])} \right) \left( 1 + \frac{10[K\Omega]}{10[K\Omega]} \right) - V_{in(-)} \left( \frac{10[K\Omega]}{10[K\Omega]} \right)$$

$$V_o = V_{in(+)} \left( \frac{1}{2} \right) (2) - V_{in(-)} \left( \frac{1}{1} \right)$$

$$V_o = V_{in(+)} - V_{in(-)}$$

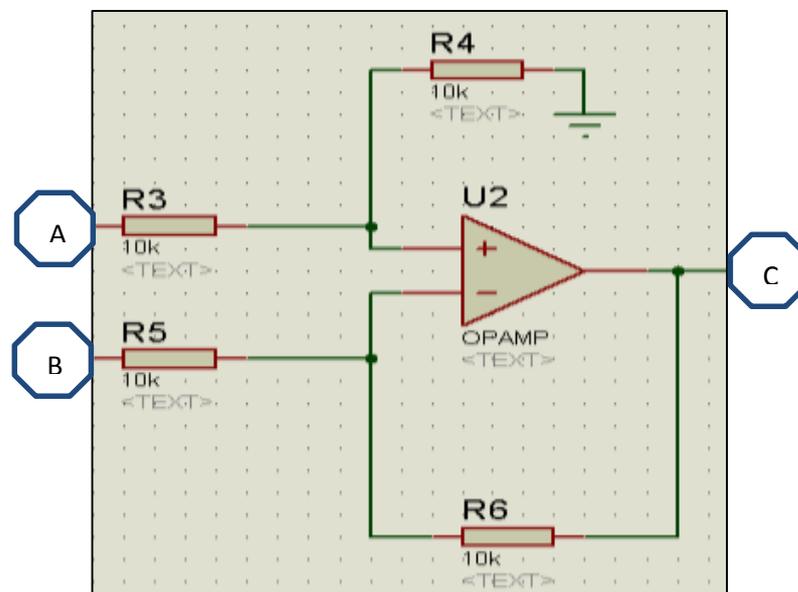


Figura 48 .Circuito eliminador de corrientes parásitas.

La señal de corriente generada por el sensor o transmisor analógico de presión es inyectada aun circuito para obtener esta en una señal equivalente de voltaje en un rango entre 1.....5VDC.

#### CIRCUITO EMISOR SEGUIDOR.

La función de este circuito es acoplar las impedancias de los circuitos de acondicionamiento con la señal analógica digital del microcontrolador. El circuito de emisor seguidor tiene una ganancia igual a uno.

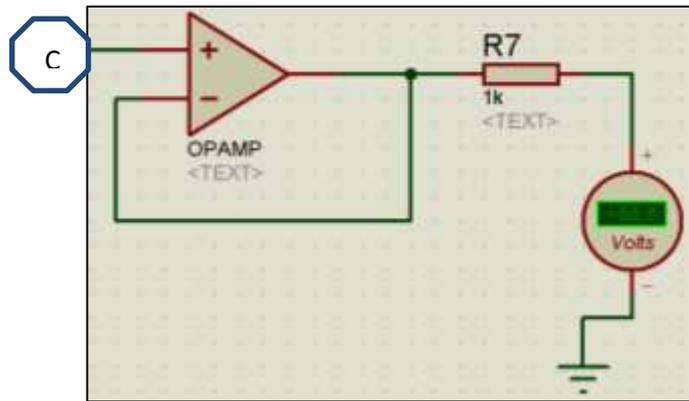


Figura 49 .Circuito acoplador de impedancias.

Al hacer que la señal de corriente pase por este circuito se garantiza la escalarización correspondiente de 4...20mA equivalente entre 1.....5Vdc.

El diagrama completo de una entrada de señal de corriente se observa en el siguiente gráfico.

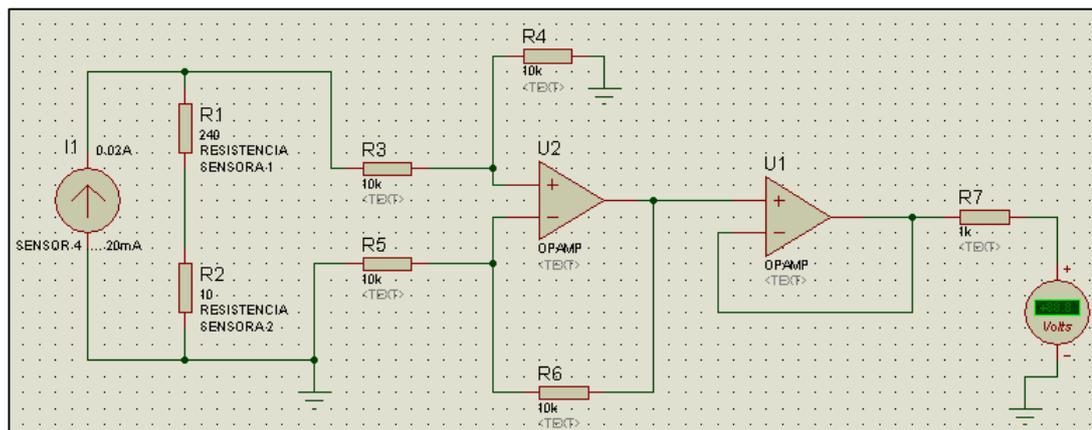


Figura 50 .Circuito convertidor de corriente a voltaje.

### 3.2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL.

El circuito de control es el encargado de digitalizar los datos provenientes de la interfaz de entrada analógica y realizar las labores de control según lo establecido en la programación del microcontrolador.

El circuito de control es un circuito que tiene como elemento central un microprocesador y un juego de tres displays de siete segmentos en conjunto un decodificador y algunos transistores para la activación desactivación de estos displays que visualizaran el valor de la presión dentro del depósito de manera digital;

también se cuenta con un selector para configurar si el valor de la presión lo queremos visualizar en las unidades de presión bar o psi correspondientemente.

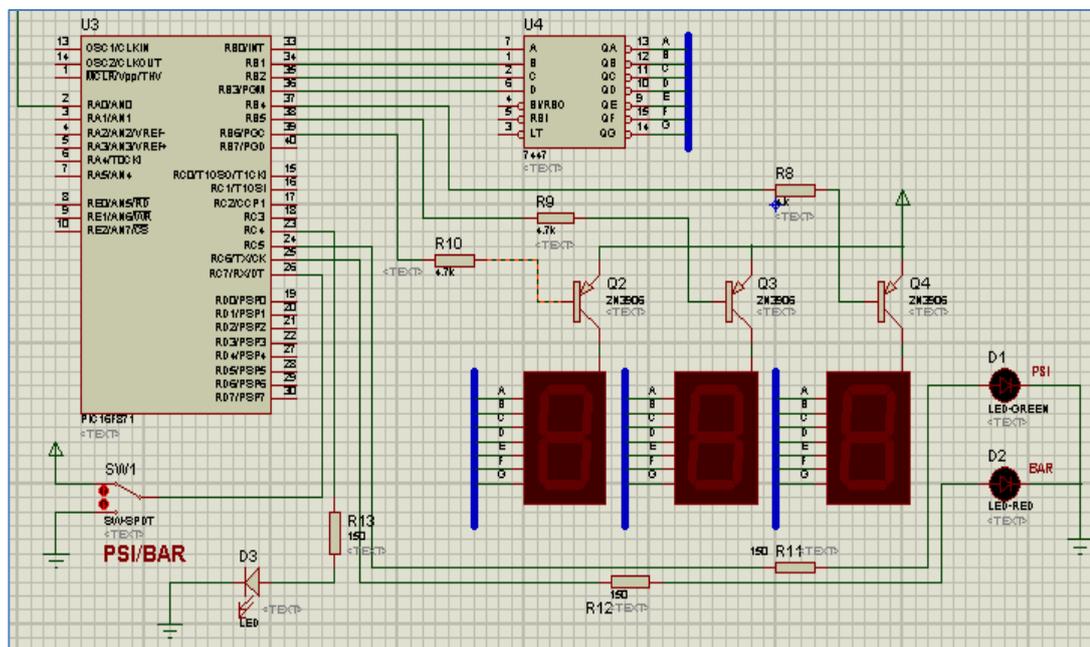


Figura 51 .Diagrama esquemático del circuito medidor de presión.

Este circuito comprende un medidor de presión digital de tres dígitos, el programa central se encuentra alojado en el microprocesador y es el encargado de ejecutar las entradas de acuerdo a la programación propia del mismo.

El software es un punto muy importante, en el desarrollo de este módulo se utilizó Proteus versión 7.6 que es de muy buena ayuda para realizar las pruebas de simulación y ejecución de los artes para su posterior revelación en la tarjeta madre.

Al culminar este proyecto es posible constatar que un diseño electrónico es un factor muy importante para conseguir un circuito sin fallas en el momento de su aplicación.

### 3.2.2.2 DISEÑO DE LA TARJETA ELECTRÓNICA EN ARES 7.5.

Las placas de circuitos impresos fueron diseñadas y ruteadas en el programa ARES versión 7.5 en el cual es posible obtener también los planos de tierra necesarios para que el circuito induzca ruido, de esta manera se concluyó este trabajo sin mayores novedades, a continuación se muestran los diagramas:

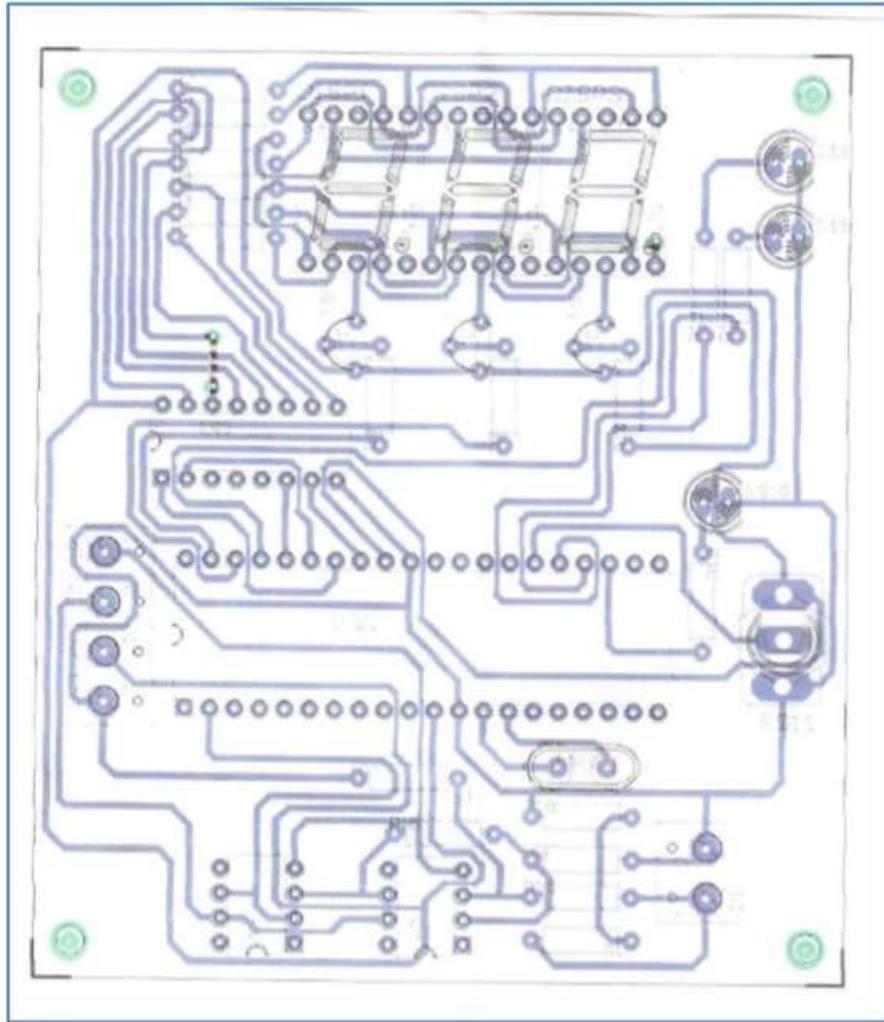


Figura 52 .Diagrama de tarjeta madre procesamiento de señal analógica.

### 3.2.2.3 AJUSTES Y PRUEBAS DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO.

Los ajustes y pruebas del circuito electrónico se realizaron una vez que este estuvo ya listo, es decir cuando se construyeron las placas y se terminó de soldar los componentes.

Se requirió hacer ajustes en el programa para recibir los datos en el PIC, de esta manera se consiguió que el circuito se comporte tal como estuvo desarrollándose en el simulador y protoboard.

Todos estos ajustes y pruebas nos garantizan el correcto funcionamiento del sistema una vez instalado y puesto en marcha.

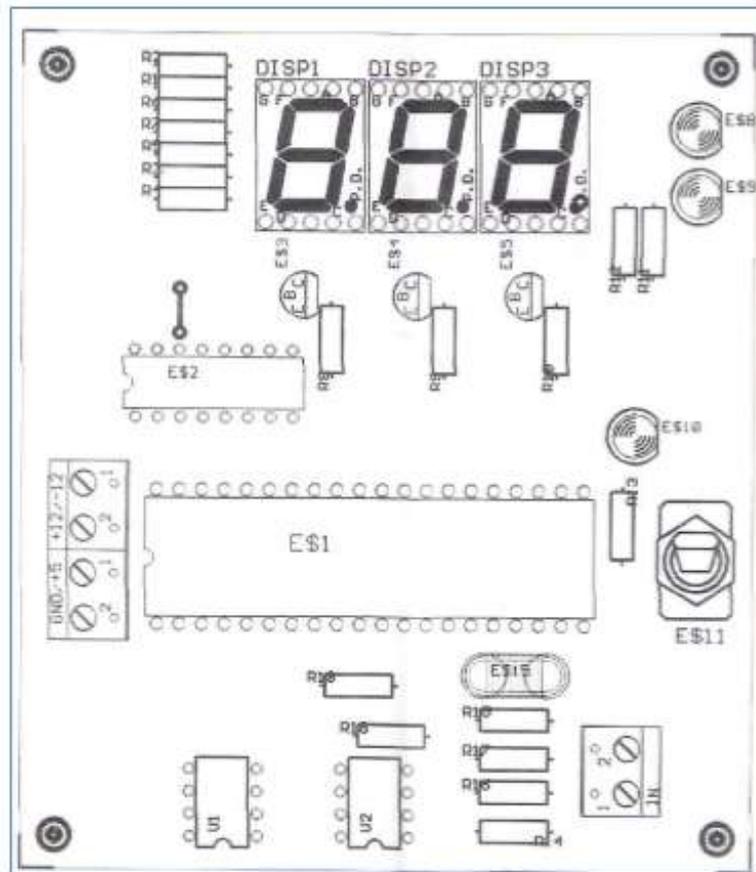


Figura 53 .Vista pictórica de la tarjeta madre del medidor de presión.

Este es el programa del microcontrolador desarrollado en Microcode Studio.

### 3.2.2.4 CÓDIGO FUENTE DEL MEDIDOR DE PRESIÓN.

```

*****
!* Name      : UNTITLED.BAS                                     *
!* Author    : [select VIEW...EDITOR OPTIONS]                 *
!* Notice    : Copyright (c) 2014 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
!*           : All Rights Reserved                             *
!* Date      : 00/00/0000                                       *
!* Version   : 1.0                                             *
!* Notes     :                                                 *
!*           :                                                 *
*****

dato VAR WORD ;crear variable dato para guardar
BAR VAR word
PSI VAR word

unid VAR BYTE ;variable unidades
dece VAR BYTE ;variable decenas
cent VAR BYTE ;variable centenas

```

```

chicha VAR portc.4 ;pin de la chicharra

ledpsi VAR portc.5 ;led indicar de PSi
ledbar var portc.6 ;led indicador de BAR
psibar VAR portc.7 ;interruptor BAR/PSI

trisb=0
trisc=%10000000
LOW chicha ;apagar la chicharra
encerar:
unid=0 ;carga la variable unid con cero
dece=0 ;carga la variable dece con cero
cent=0 ;carga la variable cent con cero

inicio:
gosub visualizar
    if psibar=0 then
        low ledpsi
        high ledbar
    else
        low ledbar
        high ledpsi
    endif
ADCIN 0, dato ;leer el canal 0 (A0) y guarde en dato
if dato < 51 then error
low chicha
bar = (dato - 51) * 5
bar = (bar /10)-1
psi = bar * 147
psi = psi /100
    if psibar = 0 then
        unid = bar dig 0
        dece = bar dig 1
        cent = bar dig 2
    else
        unid = psi dig 0
        dece = psi dig 1
        cent = psi dig 2
    endif
goto inicio

visualizar:
portb= 224+unid ;224 %11100000, activa las unidades
PAUSE 50
portb= 208+dece ;208 %11010000, activa las decenas
PAUSE 50
portb= 176+cent ;176 %10110000, activa las centenas
PAUSE 50
RETURN

error:
high chicha
    unid = 14
    dece = 14
    cent = 14
goto inicio
end

```

## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1 PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS DE CALIBRACIÓN.

La verificación de la trazabilidad de las medidas físicas llevadas a cabo en los laboratorios de ensayo suele coincidir con el proceso de calibración del instrumento que mide dicha medida, ya que en los procesos de medida físicos la etapa instrumental es la etapa clave (y en muchas ocasiones la única etapa).

En este artículo desarrollamos uno de los tipos de calibración más utilizados, la calibración por comparación directa con un patrón. Los procesos de calibración pueden dividirse en dos grandes bloques: directos e indirectos. Los procesos de calibración directos son aquellos en los que el valor conocido o generado (por ejemplo a partir de un patrón físico o de un material de referencia certificado) se expresa en la misma magnitud que mide el equipo. La relación entre este valor conocido o generado y el valor del instrumento de medida (valor encontrado), suele expresarse como una diferencia denominada corrección:

En las calibraciones indirectas, el equipo o instrumento de medida mide una magnitud que no coincide con la del patrón o material de referencia certificado (por ejemplo, en la calibración de un termopar el equipo mide un potencial eléctrico mientras que la magnitud deseada es la temperatura).

Sin embargo, tanto si la calibración es directa como indirecta, se pueden realizar diversas clasificaciones de métodos de calibración. En este artículo nos vamos a centrar en un ejemplo de un método de calibración por comparación directa con un patrón, aplicándolo al caso concreto de la calibración de presión y temperatura.

En este artículo nos vamos a centrar en un ejemplo de un método de calibración por comparación directa con un patrón, aplicándolo al caso concreto de la calibración de temperatura y presión.

#### **4.1.1 COMPARACIÓN DIRECTA CON UN PATRÓN.**

Este es el método más simple y surge a partir de la definición de calibración.

**Definición de calibración:** Calibración se define como un conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de las magnitudes indicadas por un instrumento de medición o un sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada o un material de referencia, y los valores correspondientes de la magnitud realizada por los patrones.

En este método se comparan los valores proporcionados por el equipo o instrumento de medida al medir uno o varios patrones de los que conocemos sus valores de las magnitudes deseadas.

#### **4.2 DESARROLLO DE GUÍAS DE CALIBRACIÓN. VARIABLE FÍSICA: TEMPERATURA.**

##### **4.2.1 OBJETIVO**

Establecer procedimientos para el control, medición, validación y calibración organizada de los instrumentos y/o equipos utilizados en los diferentes procesos de control o visualización de la variable física temperatura.

##### **4.2.2 ALCANCE**

Estos procedimientos son aplicables a todos los instrumentos y / o equipos de medición, control e instrumentación que abarca el módulo.

##### **4.2.3 PROCEDIMIENTOS**

###### **4.2.3.1 Calibración de instrumentos de temperatura.**

Existen algunos medios para la medición de temperaturas entre los cuales tenemos los termómetros de mercurio, termómetros de bulbo, termómetros bimetálicos, indicadores de temperatura electrónico, con sensores de temperatura ya sea PT -100 y / o Termocupla.

Para la calibración de instrumentos de temperaturas se empleará el equipo calibrador de bloque seco y comprobadores potenciométricos.

#### **4.2.3.2 Calibrador de bloque seco.**

Se utiliza para obtener temperaturas estables a diferentes rangos, para así efectuar una buena contrastación y calibración de los instrumentos de medición.

#### **4.2.3.3 Comprobadores Potenciométricos.**

Se emplean para comprobar las características (voltaje / temperatura) de los termopares, para medir la temperatura de un termopar y para calibrar los instrumentos galvanométricos y potenciométricos.

Esencialmente, el aparato puede medir y generar una tensión en corriente con una precisión del 0.2 %.

#### **4.2.3.4 Termómetros Bimetálicos**

Este es el método más usual para medir la temperatura. Está formada por un bimetal en forma de espiral, el cual está compuesto por metales que tienen coeficiente de dilatación distinta.

#### **4.2.3.5 Sensor De Temperatura Tipo PT-100**

El sensor tipo PT-100 es un dispositivo que ante un incremento o decremento de temperatura cambia su valor óhmico y se llama así porque a 0°C su impedancia es de 100.00 ohmios.

#### **4.2.3.6 Sensor De Temperatura Tipo Termocupla**

Una Termocupla es un par de conductores metálicos distintos unidos entre sí, está compuesta por una unión denominada la **unión caliente** está sometida a alta temperatura y la otra unión llamada la **unión fría** está sometida a una temperatura baja.

Cuando se hace esto se crea un pequeño voltaje en la bucla; éste voltaje es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de las dos uniones.

Entre mayor sea la temperatura de la unión mayor es el voltaje producido por dicha unión; además la relación entre el voltaje y la temperatura es aproximadamente lineal es decir un aumento dado en temperatura produce un aumento dado en voltaje.

Las aleaciones pueden ser de diferentes metales, según esto existen diversos tipos de termocuplas entre algunas tenemos:

**Tipo J**.....aleación de Fe (hierro) y Const (constantan) color azul.

**Tipo K**.....aleación de Cu (cobre) y Const (constantan) color marrón.

#### 4.2.4 PROCEDIMIENTO DE CONTRASTACIÓN DE PT100.

**DEFINICIÓN DE CONTRASTAR.-** Contrastar es comparar un instrumento desconocido con otro conocido y perfectamente calibrado (patrón) para poder comparar los errores del primero.

##### Equipos utilizados

- Calibrador o contrastador de temperatura.  
(Figura 54).
- Termómetro patrón DS18B20.  
(Integrado al controlador de temperatura).
- Multímetro Fluke (5 dígitos).



Figura 17: Contrastador de temperatura

Para realizar la contrastación de una Pt-100 siga los siguientes pasos:

### **Procedimiento:**

1. Llenar de glicerina los termopozos.
2. Conecte a la red de 120 voltios el equipo calibrador de temperatura.
3. Colocar el termómetro patrón.
4. Con los pulsadores de ajuste grueso, fijar una temperatura dentro del rango a contrastar.
5. Introduzca en otro de los termopozos el sensor Pt - 100 a contrastar.
6. Anotar el valor de temperatura que el termómetro patrón nos indica.
7. Con este valor de temperatura buscamos en la Tabla 5 el valor óhmico equivalente.
8. Con el Multímetro Fluke tomar la lectura óhmica en los puntos de conexión de la Pt100.
9. Comparamos el valor de la Tabla con el valor obtenido de la lectura en el sensor, tomando en cuenta el valor de tolerancia de la escala a comparar, si la desviación está dentro del rango de tolerancia podemos continuar con la contrastación en otros rangos de temperatura, caso contrario el sensor tendrá que ser remplazado.
10. Realice varias mediciones de temperatura en forma ascendente hasta llegar a la temperatura de trabajo y también en forma descendente, repitiendo los pasos 7, 8 y 9.

### **EQUIPO CONTROLADOR DE TEMPERATURA CON SENSOR PT-100**

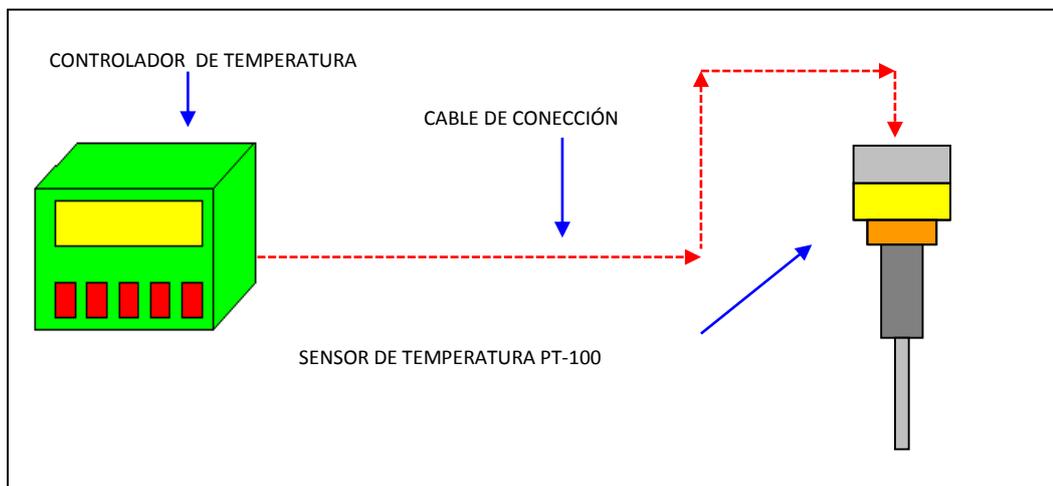


Figura 54 .Representación pictórica para contraste de Pt-100.

#### 4.2.5 PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR TEMPERATURA DE UNA PT-100 MEDIANTE EL USO DE LAS TABLAS PT 100 DIN 43760 (RESISTENCIA / TEMPERATURA)

Para realizar una lectura en las tablas vamos a dividir éstas en dos ejes; sobre el eje Horizontal tenemos la lectura en grados centígrados de diez en diez partiendo del cero hasta llegar a cien °C.

En el eje vertical izquierdo tenemos lecturas de grados centígrados de cien en cien partiendo de cero y llegando hasta 200°C, en el eje vertical derecho, tenemos dos columnas la primera es la constante de cada intervalo de lectura dada en ohmios /°C y la segunda es la tolerancia de cada intervalo dadas en °C.

Todo lo que se encuentra entre los ejes horizontal y vertical es el valor en ohmios producto de la lectura realizada. Vamos a realizar un ejemplo:

Si tengo 110 °C, en la columna vertical izquierda busco el valor 100, en el eje Horizontal busco el valor 10, la intersección de los dos me dará el valor en ohmios, Esto es 142,29 ohmios.

Tabla 5. Valores de resistencia según la temperatura en °C para las sondas de resistencia PT100 con coeficiente de variación de resistencia 0.00385 según DIN 43.760 (IPTS-68)

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Ω/°C	tol °C
0	100.00	103.90	107.79	111.67	115.54	119.39	123.24	127.07	130.89	134.70	138.50	0.385	0.6
100	138.50	142.29	146.06	149.82	153.58	157.32	161.04	164.76	168.47	172.16	175.84	0.373	1.2
200	175.84	179.51	183.17	186.82	190.46	194.08	197.69	201.30	204.88	208.46	212.03	0.361	1.8

Nota: En la tabla 5 pueden verse los valores de resistencia de las sondas de Pt100. A señalar que la misma tabla es válida para termorresistencias Pt500 (500 ohmios a 0 °C) y Pt1000 (1.000 ohmios a 0 °C) multiplicando los valores correspondientes por 5 y por 10, respectivamente.

Fuente: Creus Solé Antonio. (2004). Instrumentación Industrial, VII edición.

Cuando tengo temperaturas intermedias como por ejemplo 118°C procederemos de la siguiente manera:

118 °C está ocho grados (8) por encima del límite inferior del rango que es 110°C y dos (2) grados debajo del rango mayor que es 120°C., de tal manera que podemos hacer el cálculo tomando como base a 110°C así tenemos lo siguiente.

$$110^{\circ}\text{C} \quad 142.29 \, \Omega \text{ (según tabla)}$$

$$8^{\circ}\text{C} * 0.373 \text{ (ohm/}^{\circ}\text{C)} = 2.984 \, \Omega$$

$$142.29 + 2.984 = 145.27$$

$$118^{\circ}\text{C} \quad \underline{145.27 \, \Omega}$$

Si tomamos como base 120°C tenemos que

$$120^{\circ}\text{C} \quad 146.07 \, \Omega \text{ (según tabla)}$$

$$2^{\circ}\text{C} * 0.373 \text{ (ohm/}^{\circ}\text{C)} = 0.746 \, \Omega$$

$$146.07 - 0.746 = 145.32 \, \Omega$$

$$118^{\circ}\text{C} \quad \underline{145.32 \, \Omega}$$

Desviación: $145.32 - 145.27 = 0.05 \, \Omega$
--

A partir del valor óhmico también podemos determinar si nuestro indicador digital está dándonos la lectura correcta, esto se lo puede hacer una vez que el sensor Pt100 ha sido debidamente contrastado.

Para entender mejor realicemos un ejemplo; suponiendo que tomamos una lectura en los terminales del sensor Pt100 la cual nos da 150 ohmios primero ubicarnos en la tabla 5 para determinar en qué rango estamos en este caso nos encontraremos entre 130 y 140 grados centígrados así:

$$130^{\circ}\text{C} \quad 149.82 \, \Omega \text{ (según tabla 5)}$$

$$150 \, \Omega - 149.82 \, \Omega = 0.18 \, \Omega$$

$$0.18\text{ohm} / (0.373\text{ohm}/^{\circ}\text{C}) = 0.48\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$130^{\circ}\text{C} + 0.48^{\circ}\text{C} = 130.48\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$140^{\circ}\text{C} 153.58\Omega \text{ (según tabla)}$$

$$153.58\ \Omega - 150\ \Omega = 3.58\ \Omega$$

$$3.58\text{ohm} / (0.373\text{ohm}/^{\circ}\text{C}) = 9.597^{\circ}\text{C}$$

$$140^{\circ}\text{C} - 9.597^{\circ}\text{C} = 130.40\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Desviación: } 130.48 - 130.40 = 0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$$

#### **4.2.6 PROCEDIMIENTO DE CONTRASTACIÓN DE TERMOCUPLA.**

##### **Equipo utilizado:**

- Calibrador o contrastador de temperatura. (Figura 54).
- Termómetro patrón DS18B20. (Integrado al controlador de temperatura).
- Multímetro Fluke (5 dígitos).

Para realizar la contrastación de una termocupla siga los siguientes pasos:

##### **Procedimiento:**

1. Llenar de glicerina los termopozos.
2. Conecte a la red de 120 voltios el equipo calibrador de temperatura.
3. Con los pulsadores de ajuste grueso fijar una temperatura dentro del rango a contrastar.
4. Introduzca en uno de los termopozos la termocupla y en otro el termómetro patrón.
5. Coloque en los terminales de la termocupla el Multímetro de precisión Fluke de cinco dígitos y tome el valor en milivoltios.

6. Con éste valor verificamos en la tabla adjunta según el tipo de termocupla y rango de medición, así si la temperatura patrón marca  $30^{\circ}\text{C}$ , según la tabla nos da  $1.58\text{ mv}$  midiendo con el Multímetro (si es termocupla tipo J se utiliza la Tabla 6).
7. Si el paso anterior es correcto realice varias mediciones a diferentes temperaturas tanto en forma ascendente como en forma descendente.
8. Si el paso 6 tiene desviaciones superiores a la tolerancia de la tabla se cambia la termocupla.

### EQUIPO CONTROLADOR DE TEMPERATURA CON TERMOCUPLA

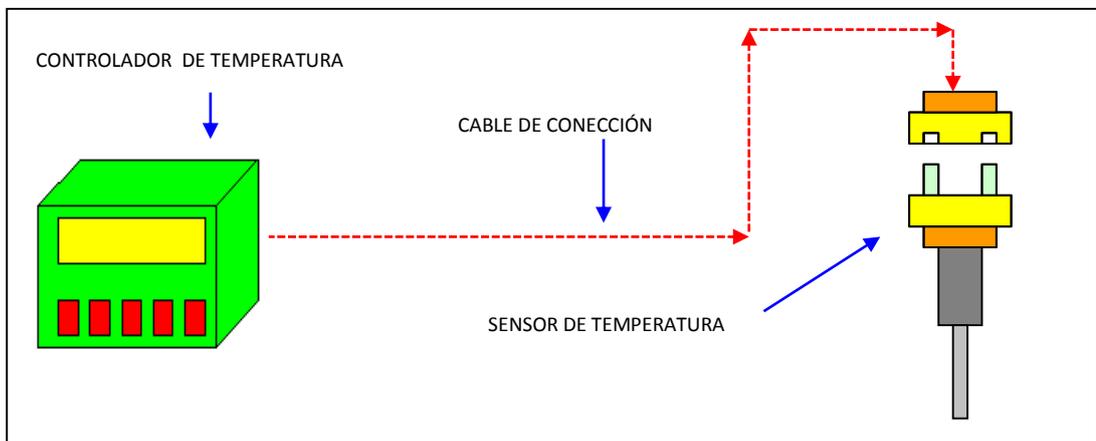


Figura 55 .Representación pictórica para contraste de termocupla.

**Nota:** El manejo y procedimiento de cálculo con las tablas de termocuplas es similar al de la Pt100, la única diferencia está en que la constante viene dada en  $\text{mv}/^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.2.7 PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR TEMPERATURA DE UNA TERMOCUPLA MEDIANTE EL USO DE LAS TABLAS DIN 43760 (VOLTAJE / TEMPERATURA)

Para realizar una lectura en las tablas vamos a dividir éstas en dos ejes Horizontal tenemos la lectura en grados centígrados de diez en diez partiendo del cero hasta llegar a cien  $^{\circ}\text{C}$ .

En el eje vertical izquierdo tenemos lecturas de grados centígrados de cien en cien partiendo de 0, pasando por cero y llegando hasta  $200^{\circ}\text{C}$ , en el eje vertical derecho, tenemos dos columnas la primera es la constante de cada intervalo de lectura dada en  $\text{milivoltios}/^{\circ}\text{C}$  y la segunda es la tolerancia de cada intervalo dadas en  $^{\circ}\text{C}$ .

Todo lo que se encuentra entre los ejes horizontal y vertical es el valor en milivoltios.

**TABLA DE TERMOCUPLA TIPO J (Fe-Cost)**

Tabla 6 . Valores de resistencia según la temperatura en °C para las termocuplas tipo J según norma DIN. 43760

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	mv/°C	Tol/°C
0	0	0.52	1.05	1.58	2.11	2.65	3.19	3.73	4.27	4.82	5.37	0.054	+/-3
100	5.37	5.92	6.41	7.03	7.59	8.15	8.71	9.27	9.83	10.39	10.95	0.056	+/-3
200	10.95	11.51	12.07	12.63	13.19	13.75	14.31	14.88	15.44	16.00	16.56	0.056	+/-3

Fuente: Creus Solé Antonio. (2004). Instrumentación Industrial, VII edición.

Tabla 7 . Valores de resistencia según la temperatura en °C para las termocuplas tipo K según norma ITS-90

**Termopar tipo K - f.e.m. en mV (ITS-90)**

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539

Fuente: Creus Solé Antonio. (2004). Instrumentación Industrial, VII edición.

#### **4.2.8 CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS E INDICADORES DE TEMPERATURA ELECTRÓNICOS.**

##### **Equipos utilizados**

- Módulo de contraste de temperatura mostrado en la figura 54.
- Termómetro o indicador a contrastar. Rango de operación (temp. ambiente.... hasta 90°C)
- Termómetro referencial de carátula.
- Multímetro digital Fluke.

##### **Procedimiento:**

1. Llenar de glicerina los termopozos.
2. Conecte a la red de 120 voltios el equipo regulador de temperatura.
3. Colocar el termómetro patrón en uno de los termopozos.
4. Con los pulsadores de ajuste grueso fijar una temperatura dentro del rango a calibrar.
5. Introduzca en otro de los termopozos el sensor o termómetro a calibrar puede ser éste Pt100, termocupla u otro transductor de temperatura.
6. Si lo que se va a calibrar es un controlador o indicador digital, hay que conectar el transductor a los terminales de dicho equipo.
7. Elevar la temperatura de 10°C en 10°C hasta llegar a un +/- 20% de la temperatura de trabajo. Ej. Si la temperatura de trabajo es 100° c , debemos llegar de manera ascendente a 80, 90, 100, 110 y 120°C y de manera descendente partiendo de 120°C, hasta llegar a 80 °C.
8. Anotar las desviaciones, si éstas están dentro del rango permitido del proceso no realizar ningún ajuste en el equipo

#### **4.3 GUÍA DE PRÁCTICAS A DESARROLLAR.**

##### **VARIABLE: TEMPERATURA**

Se realizarán prácticas sobre instrumentos de uso industrial tales como el manejo de RTD, Termistores, PT-100 y transmisores analógicos con salida a corriente y voltaje.

## **4.4 DESARROLLO DE GUÍAS DE CALIBRACIÓN: VARIABLE FÍSICA: PRESIÓN**

### **4.4.1 OBJETIVO**

Establecer procedimientos para el control medición validación y calibración organizada de los instrumentos y/o equipos utilizados en los diferentes procesos de control o visualización de la variable física presión.

### **4.4.2 ALCANCE**

Estos procedimientos son aplicables a todos los instrumentos y / o equipos de medición, control e instrumentación que abarca el módulo.

### **4.4.3 PROCEDIMIENTOS**

#### **4.4.3.1 Presión**

La presión se representa como una fuerza por unidad de área, y por tener las mismas unidades del esfuerzo. La presión absoluta se define como el valor absoluto de la fuerza ejercida por la unidad de área en la pared que contiene un fluido.

La presión manométrica representa la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica local.

El vacío representa la cantidad en que la presión atmosférica excede a la presión absoluta; por lo que la presión absoluta no puede ser negativa y el vacío no puede ser mayor que la presión local.

La presión atmosférica es la que ejerce la atmósfera terrestre sobre la superficie de la tierra, y ésta, al nivel del mar es de 760 mm Hg o 14,7 Psi.

#### **4.4.3.2 Transductores De Presión**

Son numerosas las diferentes técnicas para medir presión industrialmente, los más conocidos son: Bourdon, Fuelle, y los transductores de presión analógicos.

#### 4.4.3.3 Tubos de Bourdon.

El tubo de bourdon es un tubo deformable de metal con una sección ovalada. Es abierto en uno de sus extremos y cerrado en el otro.

El tubo hueco es elástico debido a la elasticidad del metal utilizado en su construcción.

El fluido cuya presión se quiere medir es admitido al interior del tubo por el extremo abierto, el cual está mecánicamente asegurado. El tubo entonces deflecta en una cantidad proporcional a la magnitud de la presión.

Esta deflexión es transmitida mecánicamente al contacto de un potenciómetro o núcleo para proporcionar una señal eléctrica en caso de que hubiera algún control o seguridad.

Existen dos tipos de modelos de tubos de bourdon, el de tipo c, que son los más preferidos por que generan un movimiento más grande en su extremo cerrado por cantidad de presión y se encuentran en rangos de 10 a 300 Psi. Y los de tipo helicoidal.

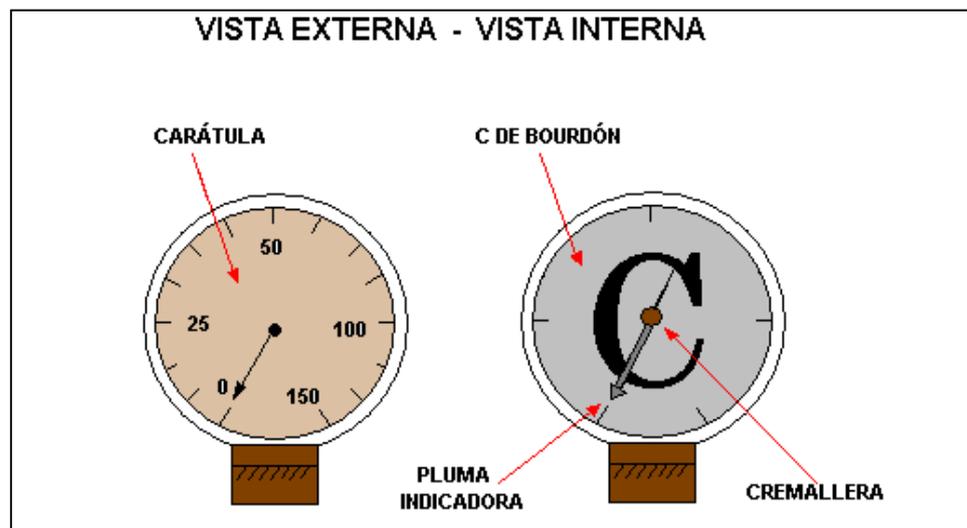


Figura 56 .Representación de los manómetros.

**4.4.3.4 Transmisores de Presión Analógicos.-** Un transmisor de Presión analógico es aquel que se constituye por un fuelle o membrana el cual al ser

sometido a una determinada presión genera una señal analógica, ya sea en milivoltios (0 – 10 mV) o en miliamperios (4 – 20 mA).

#### 4.4.4 CONTRASTACIÓN DE LOS TRANSMISORES DE PRESIÓN

Existen algunas maneras de contrastar los diferentes tipos de transmisores de presión:

- Mediante una bomba de presión manual,
- Transmisor electrónico de presión patrón.

##### 4.4.4.1 Bomba de Presión Hidráulica Manual.

Este equipo contrastador funciona, colocando el manómetro en la salida de la bomba, luego se acciona un brazo mecánico y colocando una pesa patrón del valor en Psi al manómetro a contrastar, se verifica toda la escala.

##### 4.4.4.2 Transmisor Electrónico de Presión.

El funcionamiento de este instrumento consiste en colocar el transductor en el lugar donde se requiera realizar la medición y este mostrara en digitalmente la presión que se desea medir.

#### 4.4.5 CONTRASTACIÓN DE MANÓMETROS MEDIANTE TRANSDUCTOR DE PRESIÓN

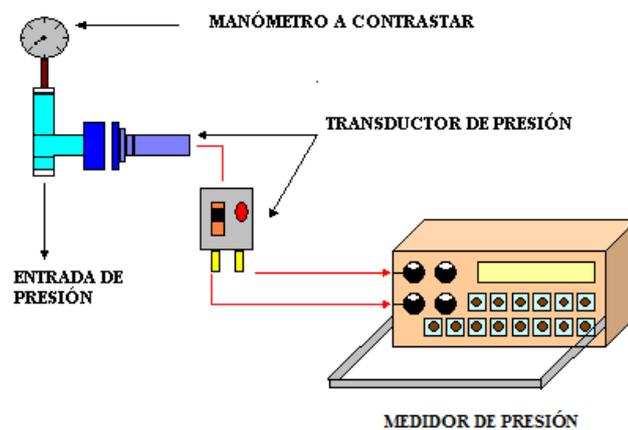


Figura 57 .Representación pictórica del circuito calibrador de presión.

#### 4.4.5.1 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS

##### Equipos utilizados

- Bomba Neumática.
- Manómetro a calibrar.
- Transmisor de presión electrónico.



Figura 43. Calibrador de presión

Para realizar la calibración de manómetros realizar los siguientes pasos:

##### Procedimiento

1. Utilizar el instrumento patrón y el medidor de presión.
2. Conectar el manómetro y el patrón a la fuente de presión en posición normal de operación.
3. Fijar la aguja del manómetro en cero y apretar manualmente la aguja contra el eje.
4. Aplicar presión de escala completa al manómetro inyectando del mismo valor en Psi que la del manómetro.
5. Dependiendo del desfase que tenga la aguja con respecto a la escala (por encima o por debajo del rango), abrir o cerrar el segmento terminal del aparato.
6. Soltar la presión, aflojando la perilla de paso, y graduar nuevamente el cero.
7. Nuevamente verificar la escala completa y repetir los pasos si se requiere.
8. El spam puede aumentarse o disminuirse hasta 15% del valor total de la escala.

**Nota:**

- Nunca someter un manómetro a presiones superiores que su capacidad.
- Asegurarse que no existan fugas en las conexiones.
- Colocar los instrumentos en la mesa en posición horizontal.
- No someter a presiones un manómetro que haya sido diseñado solamente para vacío.

**4.4.6 MEDIDAS DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE**

No utilizar aceite para calibrar manómetros que vayan a trabajar con oxígeno.

El oxígeno bajo presión forma mezcla explosiva con las grasas y los aceites.

Para el derrame de glicerina, asegurarse de dejar limpia el área y los desperdicios depositarlos en el tacho para lubricantes.

Al conocer los instrumentos de medida de presión, su mantención tiene un objetivo indispensable para que la planta funcione sin paros no programados e intempestivos.

Los instrumentos de Medición de Presión permiten garantizar la calidad y Competitividad de los productos fabricados en una planta industrial obteniendo una materia prima de gran calidad para el mercado.

Hoy en día la medida de Presión está normalizada en **PASCAL** de acuerdo con la Organización Internacional de Estandarización (ISO). El **PASCAL** es un newton por metro cuadrado ( $1 \text{ N} / \text{m}^2$ ).

**4.4.7 GUÍA DE PRÁCTICA A DESARROLLAR.****VARIABLE: PRESIÓN**

Se realizarán prácticas de medición de presión en dispositivos electromecánicos de medición de esta variable, de igual manera se pueden contrastar transmisores analógicos que generen una señal entre 4 y 20mA en un rango de 0 a 10 bar o sus equivalentes en otras unidades de medición.

## **CONCLUSIONES**

### **CALIBRADOR DE TEMPERATURA**

El dispositivo diseñado evalúa una temperatura, la compara con un rango predeterminado y actúa en consecuencia.

Con estas simples palabras podemos ver que es fácilmente aplicable a cualquier sistema que requiera mantener una temperatura estable, dentro de cierto rango.

Si miramos el dispositivo detenidamente podemos observar también que los objetivos han sido cumplidos en su totalidad. Los costos del equipo no son importantes si se comparan con lo que cuesta un controlador comercial.

El controlador de temperatura tiene una entrada o set point y dos salidas, con el fin de la búsqueda, mediante el control siendo la entrada que es introducida por el usuario sea igual a la salida que es la temperatura deseada para el contraste o validación del instrumento bajo prueba.

Como se dijo anteriormente es el control de todo el sistema está a cargo del microcontrolador 18F4550 de solo 40 pines. Éste, a su vez, está dividido en módulos por lo que la programación del mismo está orientada a cada uno de estos módulos.

#### **Desarrollo:**

El primer paso fue comunicar el microcontrolador con los display. Se utilizó el bus de datos con un tamaño de 12 bits ya que genera un ahorro notable de pines. Esto se hizo para generar funciones propias para el control de dichos display y optimizar los tiempos de envío de datos/comandos, como así también, de habilitación de los display.

Una vez establecida la comunicación se optimizaron los tiempos para una visualización rápida y fiel.

Para esta aplicación se trabajó al LCD en modo “plantilla”, este modo se caracteriza por instalar sobre el display los textos que este deberá mostrar y, a continuación, se

lanza el programa principal que se encarga de apuntar a las direcciones de memoria donde serán ubicados los registros y datos obtenidos que se deseen mostrar.

Una vez obtenido el valor de temperatura se lanza un contador que divide el valor obtenido en unidades, decenas, centenas y unidades de mil. Con estos valores se generan los caracteres ASCII necesarios y así se hace la visualización de temperatura.

El rango de temperatura que se pueden monitorear va desde 20°C hasta los 90°C, se planteó este rango debido a que el proyecto se orienta al control de la temperatura ambiente, pero, haciendo unas modificaciones de software, se podrían alcanzar temperaturas mayores.

### **El Programa Principal:**

El programa principal comienza configurando el conversor A/D para realizar una sola conversión y espera a que esta termine. Una vez tomada la muestra se evalúa el valor registrado y se guarda.

Ahora estamos en condiciones de evaluar si la temperatura actual se encuentra dentro del rango deseado.

Este proceso se realiza tomando el valor del contador utilizado para la conversión y comparándolo con otro valor más. Si la temperatura se encuentra por debajo, la salida se activa y comienza un bucle hasta que la temperatura llegue al valor SP, sino, se continúa con el muestreo y actualización de datos en los display.

Todos los incrementos y decrementos controlan que las variables no salgan de sus respectivos rangos.

Para SetPoint el rango va desde 20°C hasta 90°C.

### **CALIBRADOR DE PRESIÓN**

Antes de usar el módulo calibrador de presión, se debe verificar que el mismo se encuentra limpio sin residuos de agua en el interior del depósito y que se encuentran

instalados los accesorios que van a utilizarse. Los pasos que normalmente se siguen son estos:

Hacer que cargue el compresor a la máxima capacidad es decir 8 bar.

Instalar los instrumentos de control que, como manómetros y sensores, puedan ser requeridos.

Utilizar los aditamentos de montaje que, para el efecto, suministran los fabricantes.

Verificar la posición del bulbo del manómetro y del sensor electrónico, para asegurar que las lecturas sean correctas.

Colocar el interruptor principal en la posición de encendido. El microprocesador realizara una rutina de autoverificación de elementos, una vez que se acciona el interruptor de encendido.

Seleccionar y fijar por medio de la unidad de mantenimiento la presión de operación. Se utilizan el manómetro patrón y la visualización en los display que genera el sensor electrónico.

### **AJUSTES Y PRUEBAS PARA EL DEPÓSITO.**

Estos resultaron perfectos desde la primera carga ya que este tanque demostró hermeticidad con lo que se logró mantener la misma presión sin pérdidas dentro del mismo.

Como acotación para la lectura de los valores de presión se aprecia que un intervalo súper corto comprendido para los valores de 100 y 101 con indicación de lectura en unidades de psi se enciende e punto decimal pudiendo este causar una falsa lectura ya que se visualiza un valor de 10.0 y 10.1 respectivamente en este intervalo de medición.

## **RECOMENDACIONES**

**Advertencia:** Antes de efectuar cualquier actividad de mantenimiento, desconectar el equipo de la toma de alimentación eléctrica.

Los calibradores de bloque seco son equipos que no son muy exigentes desde el punto de vista de mantenimiento. Las rutinas recomendadas están principalmente enfocadas a la limpieza de los componentes externos. A continuación, se señalan las rutinas más comunes.

### **LIMPIEZA**

#### **Frecuencia: Mensual**

- Apagar y desconectar el equipo. Esperar a que el mismo se enfríe para evitar riesgos de quemaduras accidentales.
- Limpiar el interior de la unidad de calentamiento y refrigeración con un detergente suave. Si se presentan indicios de corrosión, existen en el mercado sustancias para limpiar el acero inoxidable. Frotar suavemente con esponjas sintéticas o equivalentes.
- Evitar la utilización de lana de acero para remover manchas de óxido, debido a que las mismas dejan partículas de acero que podrían acelerar la corrosión.
- Evitar doblar o golpear el tubo capilar del control de temperatura.
- Limpiar con un paño húmedo el exterior del módulo.

### **CALIBRADOR DE PRESIÓN.**

El módulo calibrador de presión es un equipo que no es muy exigentes desde el punto de vista de mantenimiento. Las rutinas recomendadas están principalmente enfocadas a la limpieza de los componentes externos. A continuación, se señalan las rutinas más comunes.

## **LIMPIEZA**

### **Frecuencia: Mensual**

- Apagar y desconectar el equipo. Esperar a que el mismo se enfríe para evitar riesgos de quemaduras accidentales con el compresor.
- Purgar el fluido que se podría generar debido a la compresión del aire para la generación de alta presión.
- Evitar doblar o golpear tanto el manómetro como el sensor de presión electrónico montado en el tanque de lectura.

## **LUBRICACIÓN**

### **Frecuencia: Mensual**

Esta actividad es para el compresor generador de la fuerza volumétrica con la que se cuenta para la calibración de esta unidad.

Lubricar el eje del motor eléctrico del compresor.

Colocar una gota de aceite mineral en el eje, para que se mantenga una buena condición de lubricación entre los rodamientos del motor y el eje del mismo.

## CRONOGRAMA

El trabajo de titulación se desarrolló de acuerdo al siguiente cronograma:

Tabla 8. Cronograma de ejecución.

	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
Fase I	█					
Fase II	█	█				
Fase III		█	█			
Fase IV			█	█		
Fase V			█	█		
Fase VI				█	█	
Fase VII					█	
Fase VIII					█	
Presentación y aprobación de Tesis						█
Defensa Oral						█

FASE I.- Introducción, investigación y desarrollo teórico.

- Conceptos básicos.
- Instrumentos para la medición de las variables.
- Equipos utilizados para realizar la calibración de las variables.

FASE II.- Diseño y cálculo del sistema de control de las variables temperatura y presión.

- Sensores.
- Controladores
- Fuentes de calor
- Unidad electrónica
- Visualizadores

- Cámara de presurización.
- Grupo de presurización.
- Otros.

FASE III.- Adquisición de elementos y construcción de banco de pruebas.

FASE IV.-Montaje de elementos y confrontación de cálculos teóricos-prácticos.

FASE V.- Pruebas y ajustes de precisión.

FASE VI.- Consideraciones generales en la calibración.

FASE VII.- Mantenimiento.

FASE VIII.- Elaboración de reseña escrita, anexos y tablas varias.

## PRESUPUESTO

Los costos del proyecto se dividen en tres diferentes grupos:

1. Costos de materiales.
2. Costos de construcción y programación.

Los costos de materiales son los costos de los elementos y dispositivos electrónicos usados en el desarrollo del proyecto que se detallan a continuación:

Tabla 9. Costo de materiales

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO/UNIDAD	PRECIO TOTAL \$
Caja metálica	1	35.00	35.00
PT100	2	100.00	200.00
Termocupla tipo J	1	65.00	65.00
Termocupla tipo K	1	65.00	65.00
Resistencia 300W	1	35.00	35.00
Resistencias	100	0.10	10.00
2N3904	10	0.25	2.50
Diodos LED	20	0.10	2.00
Relé 5V	5	1.00	5.00
TIP122	10	0.60	6.00
Potenciómetro	5	0.70	3.50
2N3906	10	0.15	1.50
PIC18F4550	2	12.00	24.00
Cristal 10MHz	3	4.00	12.00
Borneras de 2 edges.	10	0.25	2.50
Borneras de 3 edges.	10	0.40	4.00
Fuente de voltaje	1	25.00	25.00
Caja plástica	1	20.00	20.00
Elementos de ensamblado	1	20.00	20.00
Cables	1	25.00	25.00
Fuente 24VDC/5A	1	200.00	200.00

Extras		200.00	200.00
Subtotal 1			958.00

Los costos de diseño se basan en el tiempo requerido para diseñar, construir y simular los diferentes circuitos de acondicionamiento. Para ello se ha tomado el número de horas efectivas de trabajo, con un precio de 15 USD por hora.

Tabla 10. Costo de diseño y programación

DETALLE	COSTOS		
		COSTO (hora)	TOTAL (USD)
Construcción de tarjetas de acondicionamiento	4	50.00	200.00
Grabación del PIC	1	300.00	300.00
Subtotal 2			500.00

La tabla que se presenta a continuación muestra los gastos realizados en compras de los materiales, equipos, costos de programación y montajes de las estructuras metálicas; en base a este criterio el costo total del proyecto correspondería a:

Tabla 11. Costo total del proyecto

DETALLE	COSTO (USD)
Costos de materiales	<b>958.00</b>
Costos de diseño y programación	<b>500.00</b>
<b>Total</b>	<b>1458.00</b>

Nota: La inversión para la implementación del proyecto es asumida en su totalidad por el autor.

Los costos del proyecto para la construcción del calibrador de presión se dividen así mismo en tres diferentes grupos:

1. Costos de materiales.

2. Costos de construcción y programación.

Los costos de materiales son los costos de los elementos y dispositivos electrónicos usados en el desarrollo del proyecto que se detallan a continuación:

Tabla 12. Costo de materiales

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO/UNIDAD	PRECIO TOTAL \$
Resistencias	19	0.10	1.90
OPAM	2	0.70	1.40
Sensor 4....20 mA	1	350	350
Transistores 2N3906	3	0.50	1.50
Diodos LED	3	0.15	0.45
C.I. 7447	1	2.35	2.35
PIC 16F871	1	8.00	8.00
Display 7 segmentos	3	4.00	12.00
Switch bar/psi	1	1.00	1.00
Fuentes+12 VDC	1	9.00	9.00
Fuente -12VDC	1	9.00	9.00
Fuente +5VDC	1	9.00	9.00
Cristal 4MHz	1	5.00	5.00
Borneras	1	3.00	3.00
Terminales funda	1	2.50	2.50
Cables de extensión	1	10.00	10.00
Manómetro	1	90.00	90.00
Acc. galvanizado		80.00	80.00
Construcción bco.		450	450.00
Construcción tanque		25.00	25.00

Unidad de mantto.	1	25.00	25.00
Compresor	1	100.00	100.00
Racores	10	2.00	20.00
Manguera FESTO	10	8.00	80.00
Subtotal 1			1296.10

Los costos de diseño se basan en el tiempo requerido para diseñar, construir y simular los diferentes circuitos de acondicionamiento. Para ello se ha tomado el número de horas efectivas de trabajo, con un precio de 15 USD por hora.

Tabla 13. Costo de diseño y programación

DETALLE	COSTOS	
	COSTO (hora)	TOTAL (USD)
Tarjeta madre acond. Señal de corriente	50.00	50.00
Programación del PIC	50.00	50.00
Subtotal 2		100.00

La tabla que se presenta a continuación muestra los gastos realizados en compras de los materiales, equipos, costos de programación y montajes de las estructuras metálicas; en base a este criterio el costo total del proyecto correspondería a:

Tabla 14. Costo total del proyecto

DETALLE	COSTO (USD)
Costos de materiales	<b>1296.10</b>
Costos de diseño y programación	<b>100.00</b>
<b>Total</b>	<b>1396.10</b>

Nota: La inversión para la implementación del proyecto es asumida en su totalidad por el autor.

## REFERENCIAS

- **ANALOG DEVICES.** [www.analog.com](http://www.analog.com).
- **ATMEL CORPORATION.** [www.atmel.com](http://www.atmel.com).
- **CALVO Rolle, José Luis,** “Edición y simulación de circuitos con OrCAD”.
- **COUGHLIN R, DRISCOLL F,** *Amplificadores Operacionales y circuitos integrados lineales.* Quinta Edición. Prentice Hall Hispanoamérica. México 1999.
- **COUGHLIN, Robert F,** *Amplificadores operacionales y Circuitos Integrados Lineales,* Edición 5.
- **COUGHLIN, Robert,** *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales.* 5ª Edición. Prentice Hall. México. 1997.
- **CREUS SOLÉ, Antonio,** *Instrumentación Industrial,* Cuarta Edición. 1992.
- **CREUS SOLÉ, Antonio,** *Instrumentación Industrial.* 6ª Edición. Alfaomega. Barcelona. 1997.
- **CREUS SOLÉ, Antonio,** *Instrumentación Industrial* 7ª edición, páginas. 15,...22; 361,...367; 485,...501.
- **DOEBELIN,** *Sistemas de Medición e Instrumentación,* 5ª Edición. McGraw Hill. México. 2005.
- **ELECTRÓNICA Veneta,** Transductores y control de temperatura. Módulo G34/EV.
- **ENCICLOPEDIA LIBRE WIKIPEDIA.** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).
- **GÓMEZ CAMPOMANES, José** “Automática. Análisis y diseño de los sistemas automáticos de control. Tomos 1 y 2”, Jucar. Madrid 1986.
- **INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN** – Instrumentos para pesar de funcionamiento no automático – requisitos técnicos y metrológicos NOM-010-SCFI-1994.
- **KATSUHIKO, Ogata,** “Ingeniería de Control Moderna”. Ed. Prentice Hall Pearson Education. 2002.
- **LEIRA REJAS, Alberto José** “*Fundamentos de tecnología electrónica: teoría, problemas resueltos y simulaciones por ordenador*”. Editorial Copy Belén. 2001.

- **LINES**, Richard; *Precision Temperature Control*, *Electronics World*, April 1998, England.
- **MOTOROLA**, Inc., “Semiconductor Technical Data, Integrated Silicon Pressure Sensor On- Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated”, Rev 6 (1998).
- **O.CHARLON**, F. Carlos, “*Teoría y problemas resueltos de sistemas lineales de control*”, C B, 1999.
- **UNIVERSIDAD DE SONORA**, Convertidores Digital Analógico y viceversa,Mexico.[http://paginas.fisica.uson.mx/horacio.munguia/aula\\_virtual/cursos/instrumentacion%20II/Documentos/AD%20y%20DA.pdf](http://paginas.fisica.uson.mx/horacio.munguia/aula_virtual/cursos/instrumentacion%20II/Documentos/AD%20y%20DA.pdf)
- **WINKLER C. & BAUM J.**, **MOTOROLA**, Inc., *Semiconductor Application Note, Barometric Pressure Measurement Using Semiconductor Pressure Sensors*, Rev 1, (1997). USA, cap. 5,(1982).
- **VOYAGER Pro®**, Instruction Manual, Ohaus Corporation, Part N° 80251000, 2003. [www.ohaus.com](http://www.ohaus.com)
- **W. STANLAY & R. F. M. SMITH**, Guía para Mediciones Electrónicas y Practicas de Laboratorio,(Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, México), (1992).

## ANEXOS

1.- Formulario de Cálculo de Incertidumbre.



2.- Tabla de Referencia para Termocuplas y PT 100



### **CONOZCAMOS MÁS A LA CIENCIA DE LAS MEDICIONES: LA METROLOGÍA.**

Las organizaciones que han desarrollado un Sistema de Gestión de la Calidad frecuentemente se enfrentan a la necesidad de profundizar sus conocimientos relacionados con la metrología.

Sin embargo, a nivel de metrología industrial, erróneamente se considera que no es necesario que el personal que se ocupa de la función metrológica domine la actividad profundamente. La falta de conocimientos sobre la metrología en general nos ha llevado a tomar decisiones desacertadas a la hora de cumplir los requisitos metrológicos del Sistema de Gestión de la Calidad.

Para buscar más comprensión sobre varios de los temas más importantes relacionados con la metrología industrial utilizaremos los conceptos dados en el vocabulario de metrología.

Con el objetivo de facilitar la asimilación del contenido de la Nota Técnica, su redacción está realizada en forma de preguntas y respuestas. Las preguntas son las que normalmente nos hacemos día a día en cualquier proceso de medición y constituyen un tema recurrente en los programas de formación sobre metrología.

Otra de las herramientas que hemos implementado para facilitar la comprensión es la representación gráfica de los conceptos utilizando las relaciones genéricas, partitivas y asociativas, tal y como se describen en la norma ISO 9000:2000.

El grupo de términos relacionados con el “resultado de la medición” se muestra en la figura 1. Mientras que en la figura 2 aparece el grupo de términos relacionados con el “instrumento de medición”. En ambas figuras aparece entre paréntesis la referencia al término definido en el vocabulario de metrología [1].

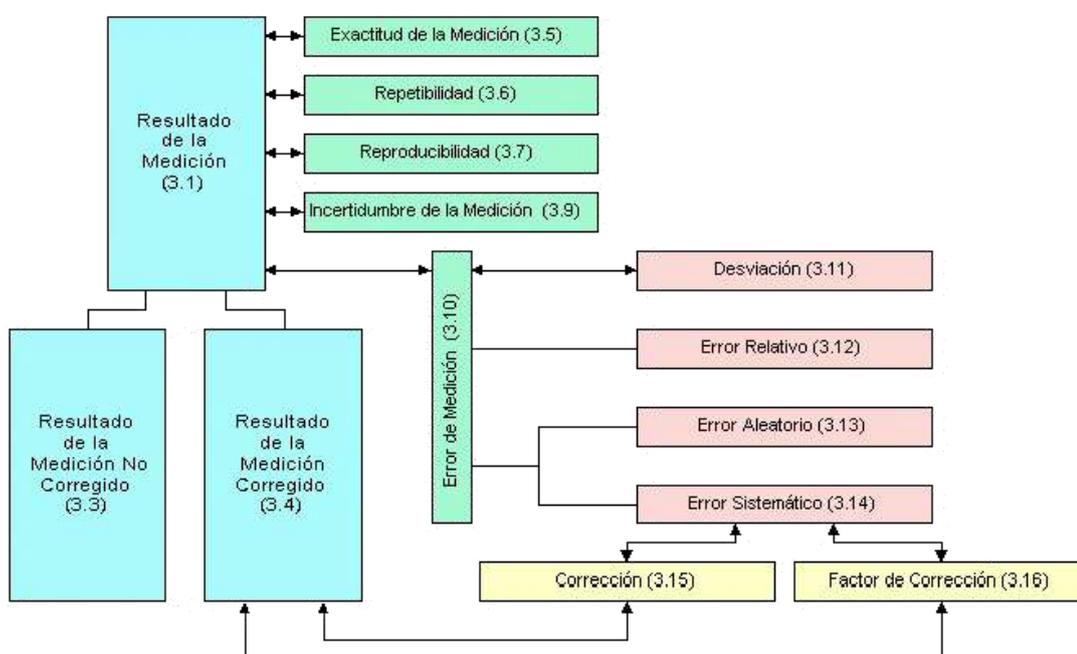


Figura 1. Grupo de términos relacionados con el resultado de la medición.

## INTERROGANTES MÁS FRECUENTES

### 1. ¿Se refiere sólo a la indicación del instrumento de medición el término “resultado de la medición”?

El término resultado de la medición no se refiere únicamente a la indicación del instrumento de medición cuando la medición es directa. Su significado es más amplio y puede abarcar:

- a. La indicación de varios instrumentos cuando la medición es indirecta, para luego evaluar la relación funcional que determina el resultado de la medición.
- b. La media de un conjunto de indicaciones.
- c. El resultado sin corregir de una medición.
- d. El resultado corregido de una medición.

## **2. ¿Qué factores influyen en el resultado de la medición?**

Durante la realización de una medición intervienen una serie de factores que determinan su resultado:

- a. El objeto de medición.
- b. El procedimiento de medición.
- c. El instrumento de medición.
- d. El ambiente de medición.
- e. El observador.
- f. El método de cálculo.

## **3. ¿Es o no necesario suministrar la incertidumbre cuando informamos el resultado de la medición?**

El resultado de la medición está completo sólo cuando va acompañado de una declaración cuantitativa de la incertidumbre que permite evaluar la confiabilidad en ese resultado. La incertidumbre de la medición debe ser calculada tomando como referencia la guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones.

## **4. ¿Es la incertidumbre de la medición una característica metrológica del instrumento de medición o una propiedad del resultado de la medición?**

La propia definición establecida en el vocabulario de metrología [1] nos da la respuesta:

*“parámetro, asociado con el resultado de la medición, que caracteriza la dispersión de valores que pudieran ser razonablemente atribuidos a la magnitud a medir”.*

Por lo tanto, es incorrecto utilizar la expresión “incertidumbre del instrumento de medición” ya que la misma es una interpretación errada del concepto de incertidumbre del resultado de la medición. Un instrumento de medición no posee incertidumbre.

**5. ¿Cuál es la incertidumbre de calibración más apropiada que debe lograr el laboratorio de calibración que nos calibra nuestros instrumentos de medición?**

Al evaluar la calidad de la calibración, es usual que tomemos como indicador la relación que existe entre la incertidumbre de calibración alcanzada por el laboratorio que calibra el instrumento y el error máximo permisible (EMP) del instrumento que es calibrado. Dicha relación podría ser, por lo general, 1:3. Hay laboratorios de calibración que poseen elevada exactitud y pueden lograr una mejor relación, en el orden de 1:4 hasta 1:10. La relación se interpreta como que la incertidumbre de calibración es 3, 4,... y 10 veces más pequeña que el EMP del instrumento que es calibrado.

Esta herramienta para evaluar la calidad de los laboratorios de calibración de una forma sencilla por personas no familiarizadas con la metrología no implica lo contrario; es decir que la incertidumbre de calibración se evalúe dividiendo el EMP del instrumento a calibrar entre tres para al menos lograr la razón de exactitud de 1:3.

Es importante aconsejar a las organizaciones en la selección de proveedores de servicios de calibración, analizando una serie de factores entre los cuales figura la incertidumbre de calibración que logran estos laboratorios. Hemos encontrado situaciones donde se ha realizado un análisis simplista de la incertidumbre de la calibración por los laboratorios de calibración y los mismos han declarado una razón de exactitud de 1:3, sin evidencias objetivas de que son capaces de alcanzar dicha relación. En estos casos se evidencian problemas de competencia técnica y de ética profesional.

**6. ¿La exactitud de la medición es una cantidad o es una cualidad?**

Según el vocabulario de metrología, la exactitud de la medición es una cualidad que refleja el “*grado de concordancia entre el resultado de una medición y un valor verdadero de la magnitud a medir*”

Como el valor verdadero de lo que medimos no se puede conocer entonces la exactitud no puede ser cuantificada.

Para evaluar la exactitud del resultado de una medición podemos utilizar la incertidumbre de la medición que es un parámetro cuantificable.

#### **7. ¿Es la precisión una característica cualitativa como la exactitud?**

La precisión no es un parámetro cualitativo, por lo general se expresa en términos de desviación estándar.

La precisión del resultado de la medición puede ser evaluada y cuantificada a través de los estudios de repetibilidad y reproducibilidad.

#### **8. La repetibilidad, la reproducibilidad y la incertidumbre son parámetros cuantitativos asociados al resultado de la medición. ¿Podemos afirmar que la repetibilidad o reproducibilidad de un método de medición (ensayo, calibración, etc.) es igual a la incertidumbre del resultado de la medición?**

Los estudios de reproducibilidad y repetibilidad de los métodos de medición nos pueden ayudar a realizar las evaluaciones de la incertidumbre del resultado de la medición, pero el valor de la repetibilidad o reproducibilidad de un método de medición no se puede tomar directamente como la incertidumbre del resultado de la medición. Es necesario considerar los aspectos que fueron tomados en cuenta en el estudio de precisión.

#### **9-. ¿Poseen el mismo significado los términos “error de la medición” y “error del instrumento de medición”?**

Los términos error de medición y error del instrumento de medición son diferentes. El error de la medición se encuentra referido al error que posee el resultado de la

medición, el cual se ve afectado por los factores enumerados en la respuesta a la pregunta 2.

El instrumento de medición es uno de los factores que contribuye al error de medición. El propio instrumento de medición tiene un error denominado “error (de indicación) de un instrumento de medición”.

El error de indicación se determina, generalmente, durante la calibración del instrumento comparando su indicación con el valor representado por un patrón.

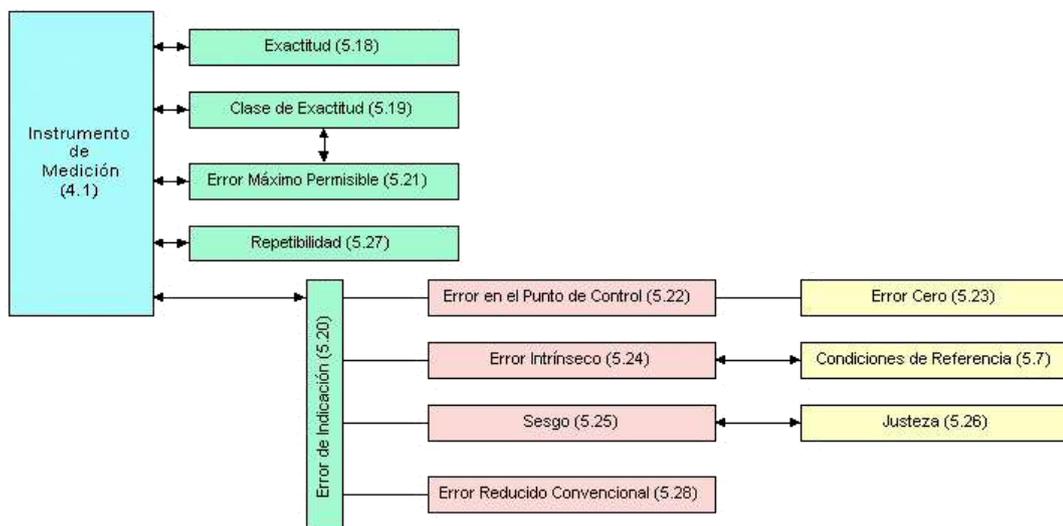


Figura 2. Grupo de términos relacionados con el instrumento de medición.

## 10.- ¿Quién establece el EMP de un instrumento de medición?

El EMP es una característica metrológica del instrumento de medición que define los valores extremos permisibles del error y es establecido por las especificaciones del fabricante del instrumento de medición, normas técnicas o regulaciones legales.

## 11.- ¿Qué importancia tiene la clase de exactitud como característica metrológica de un instrumento de medición?

La clase de exactitud permite la clasificación de los instrumentos de medición según sus requisitos metrológicos. Los requisitos metrológicos garantizan el mantenimiento de los errores del instrumento dentro de límites específicos.

**12.- ¿Es igual para todos los tipos de instrumentos de medición la forma de expresar la clase de exactitud?**

La clase de exactitud es generalmente indicada por un número, letra o símbolo adoptado por convenio y llamado índice de clase. La clase de exactitud se establece dependiendo de la forma en la cual están expresados los errores máximos permisibles (absoluto, relativo o reducido convencional).

**13.- ¿Cuál característica metrológica es la más importante a la hora de seleccionar un instrumento de medición?**

Dependiendo del uso previsto del instrumento pueden ser diferentes las características que resultan determinantes a la hora de seleccionar el instrumento.

Entre las características metrológicas del instrumento que generalmente se consideran a la hora de su selección se encuentran el rango de medición, el valor de división o la resolución, el EMP, la sensibilidad, la linealidad, la repetibilidad, etc.

**14.- ¿Es suficiente comparar el valor del error de indicación obtenido durante la calibración del instrumento con el valor del EMP de dicho instrumento cuando queremos declarar en el certificado de calibración si el instrumento cumple o no con su EMP?**

No es suficiente. Para poder establecer criterios de conformidad con una especificación es necesario considerar la incertidumbre de calibración asociada al resultado de la medición (error de indicación).

**15.- En el certificado que nos entrega el laboratorio de calibración se debe informar la incertidumbre de la calibración. ¿Es esta incertidumbre informada en el certificado de calibración la incertidumbre del resultado de las mediciones que realizamos en la organización?**

La incertidumbre de la calibración no es la incertidumbre del resultado de las mediciones que realizamos en la organización.

La incertidumbre de la calibración es la incertidumbre del resultado de las mediciones del proceso de calibración y está asociada con el error de indicación, la corrección, el valor convencionalmente verdadero y otras propiedades metrológicas que son determinadas durante la calibración. Además, es un indicador del nivel de exactitud que alcanza el laboratorio de calibración.

Es importante que la organización mantenga sus propios procedimientos documentados para el cálculo de la incertidumbre del resultado de sus mediciones.

La incertidumbre de calibración debe tomarse en cuenta, como una fuente de incertidumbre, cuando el modelo matemático de nuestro proceso de medición contempla el uso de las correcciones informadas en el certificado de calibración.

**16.- ¿Dónde podemos encontrar información sobre la forma en la cual debemos calibrar un instrumento de medición?**

Esta información puede ser encontrada generalmente en normas técnicas nacionales, regionales o internacionales o en la propia documentación técnica del fabricante del instrumento.

**17.- ¿Cómo podemos asegurar que los instrumentos y procesos de medición son los adecuados para el uso previsto y minimizar el riesgo de los resultados incorrectos que los instrumentos y procesos de medición podrían producir?**

La forma más certera de abordar esta problemática es mediante el establecimiento y la implantación de un Sistema de Gestión de las Mediciones eficaz.

Los requisitos genéricos del Sistema de Gestión de las Mediciones y las orientaciones para gestionar los procesos de medición y la confirmación metrológica del instrumento de medición son establecidos en la norma ISO 10012:2003. Además, dicha norma puede ser útil en la mejora de las actividades de medición y de la calidad de los productos.

**18.- ¿Qué debemos hacer si deseamos calibrar internamente?**

Primeramente, la decisión sobre la calibración interna debe sustentarse en un estudio de factibilidad. En caso que sea factible, se debe organizar la función metrológica para dar respuesta a las necesidades de calibración.

En algunos casos es recomendable que la organización cuente con su propio laboratorio de calibración, el cual debe tomar como referencia para su organización los requisitos dados en la norma COVENIN 2534 [9].

**19.- ¿Para que un laboratorio de calibración preste servicios internamente o externamente debe obligatoriamente estar acreditado?**

Para que un laboratorio lleve a cabo calibraciones no debe estar acreditado necesariamente.

La acreditación es un proceso voluntario donde se demuestra mediante una rigurosa evaluación, realizada por un organismo independiente, que el laboratorio es competente técnicamente para realizar algún tipo de calibración en particular.

**DICCIONARIO DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS.**

**RANGO:**

Conjunto de valores de la variable que puede ser medido por un instrumento. Límite superior e inferior. Ejemplo: 50°C - 150°C

**ERROR DE MEDIDA:**

Diferencia entre la medida producida por el instrumento y la medida ideal. (Calibración). Puede ser estático o dinámico.

**PRECISIÓN DE REFERENCIA O TOLERANCIA:**

Límite máximo del error de medida (condiciones nominales):

- Absoluta

- % Alcance
- % límite superior de rango
- % valor medido

**ZONA (BANDA) MUERTA:**

Rango de variación de la variable medida que no produce cambio apreciable en la salida del mismo. Relacionado con la fricción estática. (% Alcance).

**REPETIBILIDAD:**

Capacidad del instrumento para medir valores idénticos para los mismos valores de la variable física y condiciones de medida (% Alcance).

**HISTÉRESIS:**

Valor máximo de la diferencia entre las medidas en sentido creciente y decreciente de la variable (% alcance)

**SESGO:**

Error constante que afecta a la medida en todo su rango de funcionamiento. Se puede corregir por calibración.

**TIEMPO DE MEDIDA:**

Tiempo que tarda el dispositivo en calcular la medida. Puede introducir retardos.

**FIABILIDAD:**

Tiempo medio entre fallos

**VIDA ÚTIL:**

Duración aproximada del dispositivo de medida

**CONDICIONES DE SERVICIO:**

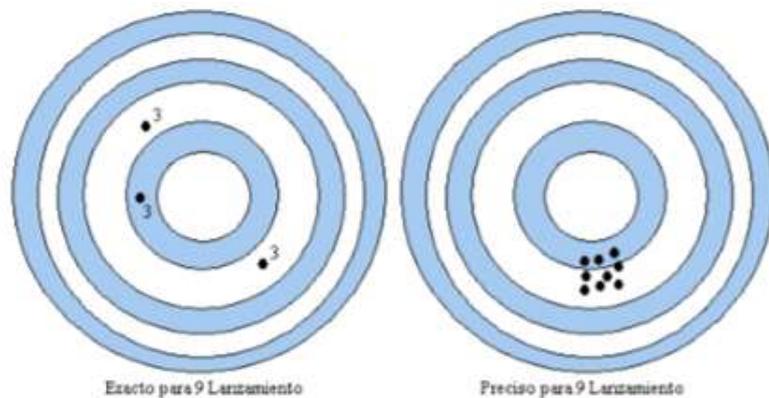
Condiciones externas (temperatura, presión, humedad, ...) en las que el instrumento de medida funciona adecuadamente.

### **CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS:**

Comportamiento dinámico del sensor.

### **EXACTITUD:**

Grado de conformidad de la salida de un instrumento de medida con el valor ideal de la variable medida. Define los límites de errores que se cometen cuando un instrumento se utiliza bajo condiciones de referencia.



### **RANGO DE MEDIDA:**

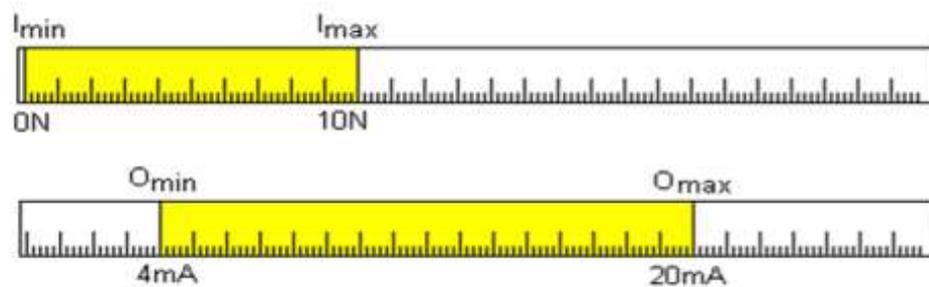
Es el campo de medidas de la magnitud de entrada comprendido entre el máximo y el mínimo detectables por un sensor, con una tolerancia de error aceptable.

### **PRECISIÓN:**

La precisión es la tolerancia de medida del instrumento (intervalo donde es admisible que se sitúe la magnitud de la medida), y define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un período determinado.

### **ALCANCE:**

Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento.



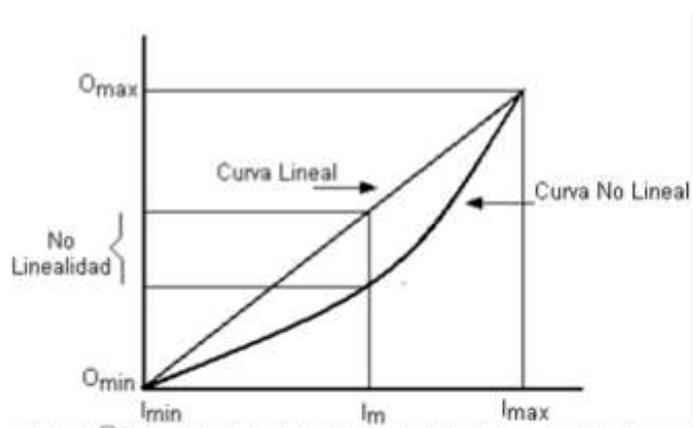
### **ERROR:**

Expresa la diferencia entre la magnitud medida y la lectura instrumental. En toda aplicación se desearía que el error fuese 0; sin embargo, todos los instrumentos modifican su comportamiento a lo largo de su vida y es común calibrarlos de cuando en cuando.

El error se define habitualmente, como Lectura-Valor real; si bien podría usarse a la inversa sin mayores confusiones, con tan sólo especificar que opción se usa.

### **LINEALIDAD:**

Un sensor o transductor se dice que es lineal, si existe una constante de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de señal de salida con los correspondientes incrementos de señal de entrada, en todo el campo de salida.



### **ERROR DE NO LINEALIDAD:**

Los instrumentos ideales son lineales. De hecho, la mayoría de los sistemas instrumentales comerciales tienen respuesta lineal. Puede ocurrir, sin embargo, que la respuesta no sea estrictamente lineal y, por ende, que ocurra un error por no linealidad de la respuesta del instrumento.

#### **INCERTIDUMBRE DE UNA MEDIDA:**

La incertidumbre es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida.

#### **REPRODUCIBILIDAD:**

La máxima diferencia entre un cierto número de salidas para la misma entrada, tomadas en un período extenso de tiempo, aproximándose por ambas direcciones. La reproducibilidad, incluye histéresis, banda muerta, deriva y Repetibilidad.

#### **SENSIBILIDAD:**

Característica que indica la mayor o menor variación de la salida por unidad de la magnitud de entrada.

#### **RESOLUCIÓN:**

Indica la capacidad del sensor para discernir entre valores muy próximos de la variable de entrada. Se mide por la mínima diferencia entre dos valores próximos que el sensor es capaz de distinguir.

#### **FIABILIDAD:**

Medida de la probabilidad de que un instrumento continúe comportándose dentro de los límites especificados de error a lo largo de un tiempo determinado y bajo condiciones específicas.

#### **RUIDO:**

Cualquier perturbación eléctrica o señal accidental no deseadas que modifica la transmisión, indicación o registro de los datos deseados.

## HISTERESIS:

La histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el instrumento para el mismo valor cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente.

