



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INTERFAZ EN LABVIEW PARA MONITOREO DE
TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LABORATORIO DE METROLOGÍA DE
UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN**

Samuel Enrique Ramírez García

Asesorado por el Ing. Jaime Eduardo Mercar Chonay

Guatemala, mayo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INTERFAZ EN LABVIEW PARA MONITOREO DE TEMPERATURA Y
HUMEDAD EN LABORATORIO DE METROLOGÍA DE UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SAMUEL ENRIQUE RAMÍREZ GARCÍA

ASESORADO POR EL ING. JAIME EDUARDO MERCAR CHONAY

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Bayron Armando Cuyán Culajay
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INTERFAZ EN LABVIEW PARA MONITOREO DE TEMPERATURA Y
HUMEDAD EN LABORATORIO DE METROLOGÍA DE UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 27 de julio 2016.


Samuel Enrique Ramírez García

Guatemala 20 de noviembre 2018

Ingeniero
Julio Rolando Barrios Archila
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Ingeniero Barrios.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titular: **"Diseño de interfaz en LabView para monitoreo de temperatura y humedad en laboratorio de metrología de una empresa de distribución"** del señor Samuel Enrique Ramírez García, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,


Ing. Jaime Eduardo Mercar Chonay
colegiado No. 12379

Jaime E. Mercar Chonay
Ingeniero Electricista
Col. 12379



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 22. 2019.
18 de marzo 2019.

Señor Director
Ing. Otto Fernando Andrino González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**DISEÑO DE INTERFAZ EN LABVIEW PARA MONITOREO
DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LABORATORIO DE
METROLOGÍA DE UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN,** del
estudiante; Samuel Enrique Ramírez García, que cumple con los
requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio Rolando Barrios Archila
Coordinador de Electrotécnica

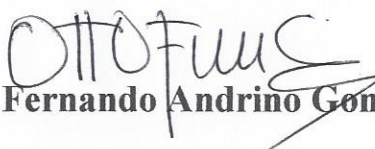




FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 22. 2019.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación de el estudiante: **SAMUEL ENRÍQUE RAMÍREZ GARCÍA** titulado: **DISEÑO DE INTERFAZ EN LABVIEW PARA MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LABORATORIO DE METROLOGÍA DE UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andriño González



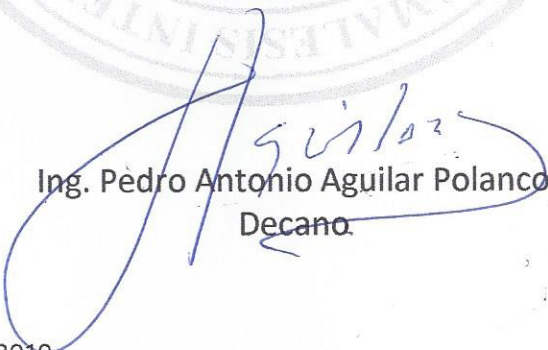
GUATEMALA, 5 DE ABRIL 2019.



DTG. 278.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INTERFAZ EN LABVIEW PARA MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LABORATORIO DE METROLOGÍA DE UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Samuel Enrique Ramírez García**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano.

Guatemala, mayo de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por todas las bendiciones que me ha otorgado y por ser fuente de vida.
Mi madre	Juana Elena García, por ser una excepcional guía. Su mayor regalo fue su ejemplo de bondad.
Mi esposa	Delmi Borja Lopez, por su amor innegable y apoyo incondicional.
Mi hijo	Cesar Ramírez, por enseñarme el significado del amor paternal.
Mis hermanos	Walfre, Sonia, Cesar, Lesbia, Flor y Manuel Ramírez, por forjar un buen ejemplo en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis hermanos	Por el apoyo incondicional que me han brindaron siempre y su buen ejemplo brindado.
Mi familia	Por enseñarme que la unidad y las buenas costumbres sobrepasan fronteras.
Mis amigos	Por ser una importante influencia en mi vida, y ayudarme en los buenos y malos momentos en el transcurso de la carrera.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Sobre todo, a la Facultad de Ingeniería, por su importante formación académica.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. GENERALIDADES DE UN SISTEMA DE CONTROL.....	1
1.1. Introducción a sistemas de control	1
1.1.1. Sistema de control de lazo abierto.....	2
1.1.2. Sistemas de control de lazo cerrado.....	3
1.2. Retroalimentación	4
1.2.1. Efecto de la retroalimentación en la ganancia global	6
1.2.2. Efecto de la retroalimentación en la estabilidad.....	6
1.2.3. Efecto de la retroalimentación en la sensibilidad	8
1.2.4. Efecto de la retroalimentación sobre perturbaciones externas o ruido	9
1.3. Clasificación de los controladores industriales	11
1.3.1. Acciones de control	11
1.3.2. Acción de control encendido-apagado.....	11
1.3.3. Control proporcional	12
1.3.4. Control integral	13
1.3.5. Control proporcional-integral.....	15
1.3.6. Control proporcional-derivativo	16

1.3.7.	Control proporcional-integral-derivativo.....	17
1.4.	Tipos de sistemas de control retroalimentados	18
1.4.1.	Sistemas de control lineales y no lineales	19
1.4.2.	Sistemas de control variantes e invariantes en el tiempo.....	20
1.4.2.1.	Sistemas de control en el tiempo continuo.....	20
1.4.2.2.	Sistemas de control en el tiempo discreto.....	22
2.	SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.....	23
2.1.	Introducción a la medida de temperatura y humedad	23
2.2.	Tipos de transductores.....	24
2.2.1.	Galgas extensiométricas	25
2.2.2.	Transductor de desplazamiento	25
2.3.	Sensores de temperatura.....	26
2.3.1.	Ventajas y desventajas de los sensores de temperatura.....	27
2.4.	Tipos de sensores de temperatura.....	27
2.4.1.	Termómetro de vidrio	28
2.4.2.	Termómetro bimetalico.....	29
2.4.3.	Termómetro de bulbo y capilar.....	29
2.4.4.	Termómetros de resistencia.....	30
2.4.5.	Termopares	32
2.4.6.	Termistores	33
2.5.	Sensores de humedad	34
2.5.1.	Ventajas y desventajas de los sensores de humedad	35
2.6.	Tipos de sensores de humedad	36

2.6.1.	Humedad en el aire y en los gases.....	36
2.6.2.	Célula de cloruro de litio	38
2.6.3.	Sensor de polímero	38
2.7.	Humedad en los sólidos	39
2.7.1.	Método de infrarrojos.....	40
2.7.2.	Método de radiación	40
2.7.3.	Punto de rocío	40
2.8.	Componentes de un sistema de control para temperatura y humedad.....	41
3.	SOFTWARE DE DESARROLLO LABVIEW	43
3.1.	Instrumentación virtual.....	43
3.1.1.	Definición	44
3.2.	Que es LabVIEW	44
3.2.1.	Introducción al LabVIEW	45
3.3.	Partes de un instrumento virtual (VI)	45
3.3.1.	Panel frontal.....	46
3.3.2.	Diagrama de bloques.....	47
3.3.3.	Paletas de controles	48
3.3.4.	Controles e indicadores	49
3.4.	Herramientas de LabVIEW	51
3.4.1.	Programación <i>While Loop</i>	52
3.4.2.	Programación de flujo de datos	53
3.4.3.	Tipos de datos y conversiones	53
3.5.	Funciones matemáticas en LabVIEW	53
3.6.	Adquisición de datos	55
3.6.1.	Sistema de adquisición de datos	58
3.7.	Gráficas	58
3.7.1.	Gráficas utilizando formas ondas.....	59

4.	DISEÑO DE INTERFAZ DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.....	61
4.1.	Antecedentes	61
4.2.	Generalidades.....	62
4.2.1.	Protocolo de comunicación <i>Modbus</i>	62
4.2.2.	Protocolos de comunicación Ethernet	64
4.2.2.1.	Ethernet/IP	66
4.3.	Control de temperatura	66
4.3.1.	Obtención de la variable de temperatura en LabVIEW y aplicativo	67
4.3.2.	Control de la variable de temperatura a través del Set Point.....	70
4.4.	Control humedad.....	70
4.4.1.	Control de la variable de humedad en LabVIEW y aplicativo.....	71
4.4.2.	Control de la variable de humedad con el Set Point.....	72
4.5.	Dispositivos de hardware	73
4.5.1.	Sensor de temperatura y humedad.....	73
4.5.1.1.	Sensor de temperatura.....	76
4.5.1.2.	Conexión RTD	78
4.5.1.3.	Sensor de humedad	79
4.5.1.4.	Humicap 180R de Vaisala HMT330	80
4.5.1.5.	Consideraciones de ruido.....	81
4.6.	Creación VI de visualización	81
4.6.1.	Modelo de visualización	82
4.6.2.	Conexión con displays	83

5.	ALMACENAMIENTO DE DATOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA HISTÓRICOS Y AUDITORÍAS	85
5.1.	Introducción a la norma ISO/IEC 17025	85
5.1.1.	Objetivos de la norma.....	86
5.1.2.	Referencias normativas	87
5.1.3.	Requisitos técnicos.....	88
5.1.3.1.	Factores humanos	89
5.1.3.2.	Instalaciones y condiciones ambientales	89
5.1.3.3.	Métodos de ensayo y calibración.....	90
5.2.	Trazabilidad de las mediciones	91
5.2.1.	Calibración.....	91
5.2.2.	Ensayos.....	92
5.2.3.	Patrones de referencia	92
5.2.4.	Muestreo.....	92
5.3.	Proceso de auditorías.....	93
5.3.1.	Validación de métodos	94
	CONCLUSIONES	95
	RECOMENDACIONES.....	97
	BIBLIOGRAFÍA.....	99
	ANEXOS.....	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Elementos de un sistema de control de lazo abierto	3
2.	Elementos de un sistema de control de lazo cerrado	4
3.	Sistema realimentado.....	5
4.	Sistema realimentado con dos lazos de retroalimentación	7
5.	Sistema retroalimentado con una señal de ruido	10
6.	Diagrama de bloques de un controlador proporcional.....	13
7.	Diagrama de bloques de un controlador integral.....	14
8.	Diagrama de bloques de un controlador proporcional-integral.....	16
9.	Diagrama de bloques de un controlador proporcional-derivativo	17
10.	Diagrama de bloques de un controlador proporcional-integral-derivativo.....	18
11.	Diagrama de un sistema de cd en lazo cerrado	21
12.	Diagrama de bloques de un sistema de control de datos muestreados	22
13.	Termómetro bimetálico.....	29
14.	Termopar.....	32
15.	Bulbo seco y bulbo húmedo	37
16.	Método de conductividad	39
17.	Elementos de un sistema de control	42
18.	Panel frontal	46
19.	Diagrama de bloques	47
20.	Paleta de controles.....	48
21.	Tablas de control.....	50

22.	Controles y gráficas	51
23.	Funciones numéricas	55
24.	Indicadores varios	57
25.	Diagramas fasoriales	59
26.	Diagramas de forma de onda	60
27.	Obtención de datos IP sensor	67
28.	Función Holding Registers	68
29.	Multiplicación de registros	69
30.	Control de la variable de temperatura	69
31.	Control de la variable de temperatura a través del Set Point	70
32.	Multiplicador de registros	72
33.	Control de la variable de humedad a través del Set Point	73
34.	Estructura física del sensor	75
35.	Sondas de prueba	76
36.	Precisión sobre el rango de temperatura	78
37.	Ejemplo de display del sensor de humedad	80
38.	VI de visualización sensor de temperatura y humedad	83
39.	Set point variables de temperatura y humedad	83
40.	Conexión con display de 7 segmentos	84

TABLAS

I.	Ventajas y desventajas de los sensores de temperatura	27
II.	Ventajas y desventajas de los sensores de humedad	35
III.	Comportamientos de bloque del protocolo <i>Modbus</i>	63
IV.	Cantidades medidas por el HMT330	74

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
θ	Ángulo <i>theta</i>
I	Corriente
°C	Grados centígrados
Hz	Hertzio
H.R.	Humedad relativa
m	Metro
Ω	Ohmio
%	Porcentaje
b	Señal de retroalimentación
y	Señal de salida
M	Salida del sistema
H	Tasa de ganancia con retroalimentación
G	Tasa de ganancia sin retroalimentación
T	Temperatura
V	Volts

GLOSARIO

<i>Boléanos</i>	Tipo de dato lógico que se puede representar en valores de lógica binaria.
COM	Puerto de comunicación serial.
CPU	Unidad central de procesamiento.
DAQ	Adquisición de datos. (<i>Data Acquisition</i>)
DBL	Tipo de datos que proporciona las magnitudes mayores y menores posibles.
Diagrama de bloques	Bloques unidireccionales que representan la función de transferencia de cualquier sistema.
Dirección MAC	Identificador único asignado por el fabricante de una pieza de hardware de red.
Exactitud	Capacidad de un instrumento de acercarse al valor de la magnitud real.
Hardware	Conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen una computadora o un sistema informático.

I/O	Entrada/Salida.
ISO/IEC	Estándar para la seguridad de la información, (<i>International Organization for Standardization</i>). en conjunto con <i>International Electrotechnical Commission</i> .
LabVIEW	<i>Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench</i> .
Modelo OSI	Modelo de interconexión de sistemas abiertos, el cual es un modelo de red descriptivo ISO/IEC 7498-1 (<i>Open System Interconnection</i>).
PC	Computador personal.
PID	Algoritmo de control proporcional, integral y derivativo.
Precisión	Capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en mediciones diferentes.
Retroalimentación	Proceso por el cual la señal de salida se suma o resta a la señal de entrada.
RTD	<i>Resistance temperature detector</i> .
Sensor	Dispositivo capaz de detectar señales físicas o químicas y convertirlas en señales eléctricas.

Setpoint	Valor de la variable controlada del proceso a mantener de manera constante y estable, ya que es el objetivo principal del sistema de control.
SI	Sistema Internacional de Unidades.
Sistema de control	<i>Resistance temperature detector.</i>
Software	Conjunto de componentes lógicos que conforman el soporte de un sistema informático.
SubVI	Instrumento virtual funcionando dentro de otro instrumento virtual, es decir la función de programación lo ejecuta este desarrolla su función específica.
TF	Valores verdaderos o valores falsos.
Transductor	Dispositivo que tiene la misión de recibir energía de una naturaleza eléctrica, mecánica, acústica y suministrar otra energía de diferente naturaleza.
USB	Bus serie universal.
VI	Instrumento virtual.

RESUMEN

El presente informe de graduación consiste en proporcionar el diseño para el control y monitoreo de las variables de temperatura y humedad, adaptado a laboratorios de metrología eléctrica.

En el primer capítulo se describen las características principales de un sistema de control, algunos de los elementos que lo componen, y una breve explicación a los distintos controladores industriales.

En el segundo capítulo se hace una presentación de algunos sensores de temperatura y humedad, idóneos para la utilización de sistema de monitoreo y control, se explican las ventajas y desventajas de estos porque es parte fundamental del proceso de obtención de las variables a medir.

El tercer capítulo es enfocado al software que se utiliza para el desarrollo del programa, se explica de forma resumida el procesamiento de los datos, la interfaz gráfica y algunos diagramas de bloques utilizados en LabVIEW.

En el cuarto capítulo se presenta paso a paso la elaboración del programa para el desarrollo de la interfaz del sistema de monitoreo de temperatura y humedad, se muestran los lazos de control de cada variable y se indica la plantilla de presentación para la visualización de estas.

En el quinto capítulo se hace una introducción a la normativa que hace referencia a las directrices para la acreditación ISO/IEC 17025. Se muestran los

datos necesarios para el almacenaje en una base y por último se hace un análisis de los beneficios de implementar este sistema.

OBJETIVOS

General

Diseñar una interfaz para el monitoreo y control de temperatura y humedad para el laboratorio de metrología de una empresa de distribución de energía eléctrica a través del programa LabVIEW

Específicos

1. Realizar un estudio de las características de los sensores de temperatura y humedad adecuados para el diseño de la interfaz de control y monitoreo.
2. Diseñar un lazo de control para las variables de temperatura y humedad para ser controladas a través de LabVIEW.
3. Brindar parámetros para el monitoreo y control óptimo de un laboratorio de metrología.
4. Analizar los datos obtenidos a manera de optimizar los procesos del laboratorio de metrología.
5. Describir las ventajas de la utilización de la interfaz de monitoreo para procesos de calidad y acreditación de laboratorios de metrología.

INTRODUCCIÓN

Un sistema de control es un conjunto de distintos elementos que son capaces de regular varias señales, las mismas señales pueden ser manipuladas y manejadas para obtener un resultado deseado. Cada proceso es distinto del otro, sin embargo, las técnicas que existen pueden ser aplicadas de una manera general, y se obtienen así los modelos del sistema físico y con ellos se pueden generar las ecuaciones, los modelos matemáticos de estado que dan una idea general de cómo funciona el sistema de control. Todos los fenómenos físicos que se presentan a nuestro alrededor pueden ser explicados por ecuaciones matemáticas o modelos matemáticos de ello la necesidad de poder comprender dichas ecuaciones de transferencia para la manipulación y comprensión del sistema que les rodea.

Con las ecuaciones formuladas y con los modelos matemáticos descritos se pueden encontrar la matriz de transición de estado, con la que se puede encontrar el funcionamiento del sistema estudiado.

Utilizando las herramientas de adquisición de datos y procesamiento de señales de LabVIEW será parte fundamental para la elaboración del proceso de estudio, también con las herramientas y el ambiente gráfico se analizará el comportamiento de las variables de temperatura y humedad de una forma que sea muy amigable para el usuario final.

1. GENERALIDADES DE UN SISTEMA DE CONTROL

En el ámbito de la ingeniería los sistemas de control forman parte importante en muchos procesos que involucran un complejo conjunto de pasos a seguir parámetros que cumplir y datos que calcular, tanto en industrias manufactureras como en procesos de investigación y desarrollo, es por ello que es de vital importancia conocer todos los aspectos básicos de los sistemas de control y con estos se evitan las probabilidades de falla o error y obtener los resultados deseados.

Existen infinidad de sistemas de control y algunos ejemplos muy básicos es el poder controlar la velocidad de un vehículo, poder mantener la temperatura estable en algún lugar determinado, verificar el estado de agua en algún tanque de llenado. Para ello es importante comprender de una forma correcta los elementos que conforman un sistema de control. Así como los tipos de sistemas de control que existen.

1.1. Introducción a sistemas de control

En los sistemas de control modernos se puede hablar de variables que pueden ser controladas y de variables que pueden ser manipuladas, la diferencia principal entre ellas es que la variable controlada es la cantidad o condición que se mide o se controla en tanto la variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.

Los procesos también forman parte fundamental de los sistemas de control, estos definen el conjunto de operaciones a realizar de forma natural y continua que se marcan por una serie de cambios graduales los cuales conducen a un resultado determinado.

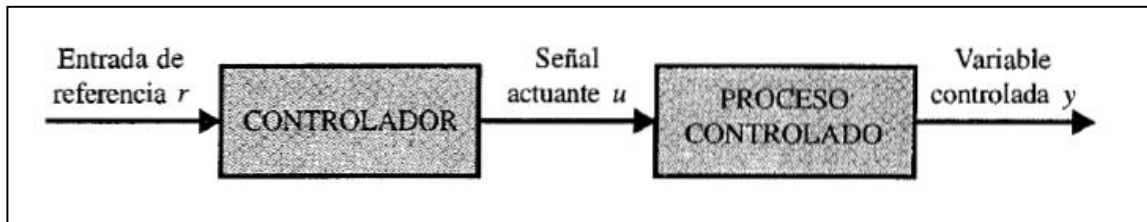
También existen los sistemas que no son más que una serie de combinaciones de componentes que actúan juntos y que realizaran un objetivo determinado.

1.1.1. Sistema de control de lazo abierto

Los sistemas de control de lazo abierto son aquellos en los cuales la salida del sistema no es afectada directamente en función de la señal de entrada, de ello se puede mencionar que en los sistemas de control de lazo abierto la salida no se compara con la entrada de referencia, estos sistemas se dividen en dos secciones el controlador y el proceso controlado, tal y como se muestra en la figura 1 y es por eso que debido a su simplicidad estos sistemas de control de lazo abierto se utilizan en sistemas sencillos y no críticos.

Ante presencia de perturbaciones estos sistemas de control no realizan la tarea asignada y por eso en la práctica, el sistema de control de lazo abierto es mayormente utilizado si se conoce la relación entre la señal de entrada y la de salida.

Figura 1. **Elementos de un sistema de control de lazo abierto**



Fuente: KUO, Benjamin C. *Sistemas de control automático*. p. 9.

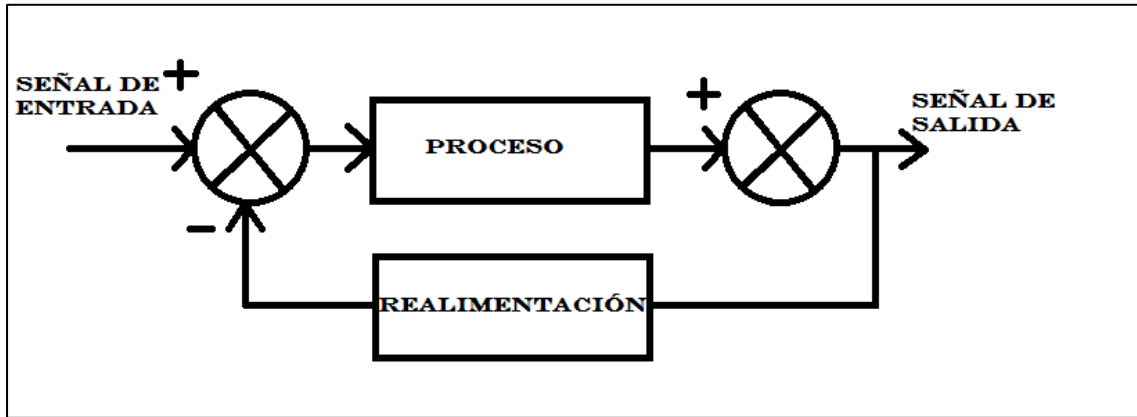
1.1.2. **Sistemas de control de lazo cerrado**

El sistema de control de lazo cerrado también es denominado sistema de control retroalimentado, porque para este tipo de sistemas se agrega una etapa de retroalimentación de la salida hacia la entrada, para hacer que este sistema sea más exacto, la señal que se aplica en la entrada del sistema debe ser retroalimentada y comparada con la entrada de referencia a su vez esta señal debe enviar una señal que actúe proporcional a la diferencia para corregir el error, la principal característica de estos sistemas es que busca reducir el error a lo más mínimo posible, y llevar a la salida el valor conveniente.

Este tipo de sistemas de control con retroalimentación son más flexibles y capaces de reaccionar si la salida del sistema no es la deseada porque son sistemas más imprescindibles por ser utilizados en procesos muy específicos y en procesos complicados.

En la figura 2 se puede observar el sistema de control de lazo cerrado con los elementos que lo conforman.

Figura 2. Elementos de un sistema de control de lazo cerrado



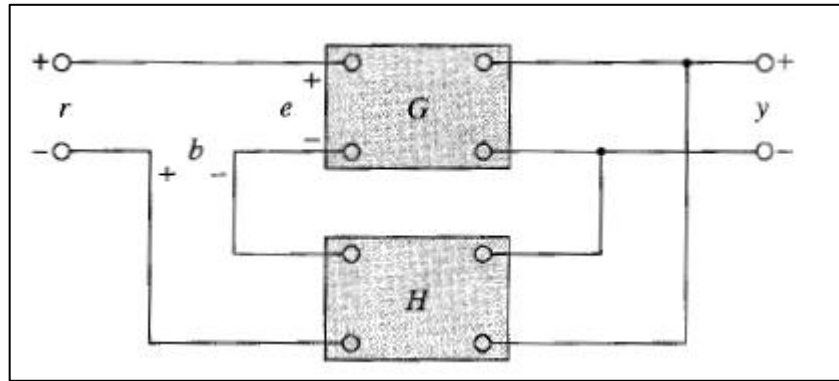
Fuente: elaboración propia, empleando Paint.

1.2. Retroalimentación

Como se ha descrito, la retroalimentación en sistemas de control juega un papel muy importante en la actualidad, cuando es necesario cumplir un proceso más complejo, y su principal objetivo es reducir el error entre la entrada de referencia y la salida del sistema, dicho esto es imperativo mencionar que reducir el error es una de las características principales de la retroalimentación, sin embargo existen otros aportes de la retroalimentación entre ellos se pueden enlistar: el desempeño del sistema, la estabilidad, el ancho de banda, las perturbaciones, sensibilidad y ganancia global.

En forma general se determina que cuando una secuencia cerrada de relaciones causa-efecto existe entre variables del sistema, se dice que existe retroalimentación, para poder entender los efectos de la retroalimentación en los sistemas de control, es necesario examinar el fenómeno de una forma más amplia, en la figura 3 se observa el diagrama con retroalimentación.

Figura 3. Sistema realimentado



Fuente: KUO, Benjamin C, *Sistemas de control automático*. p. 12.

Donde:

- r = señal de entrada
- y = señal de salida
- e = señal de error
- b = señal de retroalimentación
- G = ganancia del sistema sin retroalimentación
- H = ganancia de retroalimentación

Dando como resultado la siguiente expresión.

$$M = \frac{y}{r} = \frac{G}{1 + GH}$$

(Ec. 1.1)

1.2.1. Efecto de la retroalimentación en la ganancia global

Los sistemas de control son muy dinámicos y se puede observar en la ecuación 1.1 que la ganancia G es afectada por la retroalimentación del sistema no realimentado por medio de un factor de $1+GH$. Cuando se observa el sistema de la figura 3 se puede describir como un sistema de retroalimentación negativa, esto es debido a que se le asigna un signo menos a la señal realimentada, el signo menos lo puede incluir el termino GH por tanto el efecto general de la retroalimentación es que puede incrementar o disminuir la ganancia G .

Los términos G y H , ganancia del sistema sin retroalimentación y la ganancia de retroalimentación, respectivamente, son funciones de la frecuencia por ello la magnitud $1+GH$ puede ser mayor que 1 en un intervalo de frecuencia, pero menor que 1 en otro. Como consecuencia de esto, se puede concluir que la retroalimentación puede incrementar la ganancia global del sistema en un intervalo de frecuencia y de igual forma reducirla en otra, debido a esto la frecuencia es un elemento muy importante en los sistemas de control.

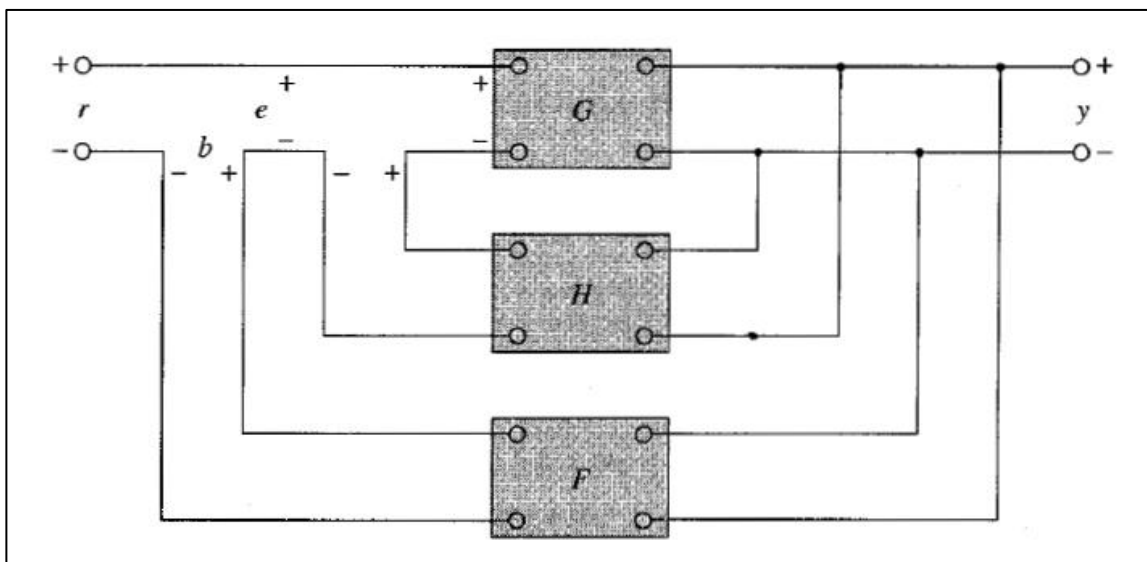
1.2.2. Efecto de la retroalimentación en la estabilidad

Cuando un sistema posee la capacidad de seguir a cabalidad el comando de entrada se dice que el sistema es estable, de forma contraria si un sistema de control, sus salidas no responden al comando especificado el sistema se dice que es inestable, esto es debido a que una de sus estradas no es capaz de controlar la salida apropiadamente, para estudiar el efecto de la retroalimentación sobre la estabilidad, se tomó como base nuevamente la ecuación 1.1, si GH es igual a -1 , la salida del sistema es infinita para cualquier entrada finita, y el sistema se deduce inestable, de ello se observa que la

retroalimentación puede ocasionar que si un sistema que originalmente es estable, se transforme en un sistema inestable. Si la retroalimentación no se usa de una forma adecuada se puede ocasionar daños al sistema de control.

Una de las ventajas de utilizar la retroalimentación, es que puede ser capaz de corregir la inestabilidad de un sistema haciéndolo más estable, y en forma general, $GH = -1$ no es la única condición para la inestabilidad, en la figura 4 se puede suponer que $GH = -1$. Si en el sistema se introduce otro lazo de retroalimentación a través de una ganancia negativa F , la relación entrada-salida de la figura 4 da como resultado la ecuación 1.2.

Figura 4. **Sistema realimentado con dos lazos de retroalimentación**



Fuente: KUO, Benjamin C, *Sistemas de control automático*. p. 13.

$$\frac{y}{r} = \frac{G}{1 + GH + GF}$$

(Ec. 1.2)

Es visible que las propiedades de G y H que el sistema retroalimentado del lazo interno de la figura 4, es inestable debido a que $GH = -1$ el sistema total puede llegar a ser estable por medio de la selección adecuada de la ganancia F del lazo de retroalimentación externo. De forma práctica según la magnitud y fase de GH, es como el sistema se convierte en estable y se puede concluir que la retroalimentación puede mejorar la estabilidad del sistema o serle nocivo si no es aplicada de manera correcta.

1.2.3. Efecto de la retroalimentación en la sensibilidad

Muy comúnmente se habla de la sensibilidad como una parte importante en sistemas de control esto es debido a que todos los elementos físicos tienen propiedades que sufren cambios con el ambiente y la edad, visto de otra forma se puede decir que un buen sistema de control debe ser insensible a la variación de los parámetros de entrada pero sensible a los parámetros de entrada, en referencia a la figura 3 se considera a G como la ganancia de los parámetros, y puede variar, la sensibilidad de la ganancia del sistema total M con respecto a la variación de G se define como:

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = \frac{\% \Delta M}{\% \Delta G} \quad (\text{Ec. 1.2})$$

En donde ∂M denota el cambio incremental en M debido al cambio incremental en G, ∂G . La función de sensibilidad se escribe como:

$$S_G^M = \frac{\partial M / M}{\partial G / G} = \frac{1}{1+GH} \quad (\text{Ec. 1.3})$$

Como se observa, la relación que se muestra que, si GH es una constante positiva, la magnitud de la relación de la función de sensibilidad parcialmente pequeña cuando GH se incrementa tomando en cuenta que el sistema permanece estable, tomando muy en cuenta que en la práctica GH es una función de la frecuencia, en general, se puede decir que la sensibilidad de la ganancia de un sistema retroalimentado a la variación de los parámetros depende de donde estén localizados los parámetros.

1.2.4. Efecto de la retroalimentación sobre perturbaciones externas o ruido

La mayoría de los sistemas físicos están propensos a varios tipos de señales exógenas o elementos externos, dígame ruido, durante su tiempo de operación, pudiendo citar como ejemplo el ruido de disparo que es un ruido electromagnético no relacionado, también llamado ruido de transistor producido por la llegada aleatoria de componentes portadores en el elemento de salida de un dispositivo, debido a esto el diseño de sistemas de control se deben dar consideraciones para que el sistema sea insensible a ruido y perturbaciones externas y sensible a comandos de entrada.

Cuando se habla de retroalimentación se debe mencionar los efectos que tienen el ruido y las perturbaciones dependen grandemente en qué parte del sistema ocurren las señales externas, no se pueden obtener conclusiones generales, pero en la mayoría de las situaciones la retroalimentación puede reducir los efectos del ruido y las perturbaciones en el desempeño del sistema.

En referencia a la figura 5, en la que r denota la señal de comando y n la señal de ruido, en ausencia de retroalimentación. $H=0$, la salida y debida a n actuando sola es

$$y = G_2 n$$

(Ec. 1.4)

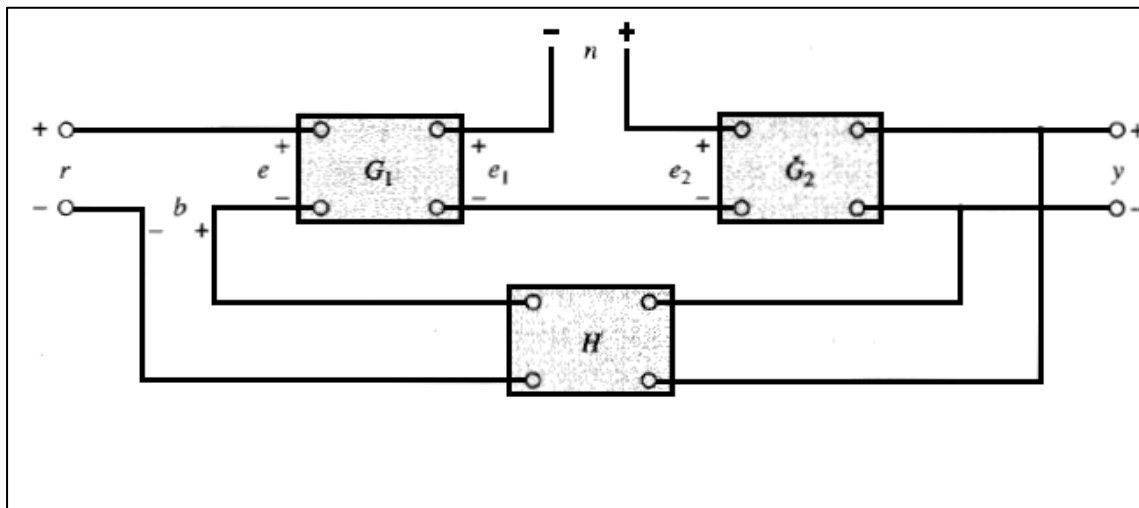
Con la presencia de retroalimentación su relación entrada-salida del sistema debido a n actuando sola es:

$$y = \frac{G_2}{1 + G_1 G_2 H} n$$

(Ec. 1.5)

Como se observa en la ecuación 1.5 comparada con la ecuación 1.4 se dice que en la ecuación 1.5 se reduce por el factor $1 + G_1 G_2 H$ si este último es mayor que la unidad y el sistema permanece estable.

Figura 5. Sistema retroalimentado con una señal de ruido



Fuente: KUO, Benjamin C, *Sistemas de control automático*. p. 15.

1.3. Clasificación de los controladores industriales

Según la acción que realicen los controladores industriales se clasifican en seis tipos que son:

- De dos posiciones o de encendido y apagado (on/off)
- Proporcional
- Integral
- Proporcional-integral
- Proporcional-derivativo
- Proporcional-integral-derivativo

1.3.1. Acciones de control

De la manera en la que un controlador automático produce una señal de control y se le denomina acción de control. Estos controladores automáticos comparan el valor real de la salida de la planta con la entrada de referencia, con esto se determina la desviación con la que el controlador debe producir una señal de control que reduzca la desviación,

1.3.2. Acción de control encendido-apagado

Los controladores de encendido-apagado son muy comunes en el ámbito eléctrico, sus funciones son variadas, su precio es bajo y su utilización en el ámbito doméstico es amplia, cabe mencionar que estos controles solo tienen dos estados, encendido y apagado.

Si se tiene que la señal de salida del controlador $u(t)$ y una señal de error $e(t)$, la señal $u(t)$ pertenece a un valor ya sea máximo o mínimo, dependiendo si la señal del error es positiva o negativa, de este modo:

$$u(t) = U_1, \quad \text{para } e(t) > 0$$

$$u(t) = U_2, \quad \text{para } e(t) < 0$$

En donde U_1 y U_2 son constantes. Y por lo general, el valor mínimo de U_2 es cero o menos que U_1

Como ejemplos de controladores de encendido-apagado se tienen válvulas eléctricas, relevadores y solenoides.

1.3.3. Control proporcional

El controlador proporcional es en realidad un amplificador con ganancia ajustable, este control reduce el tiempo de subida, incrementa el sobretiro y reduce el error de estado estable. Para un controlador con acción de control proporcional, la relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ está dada de la siguiente forma:

$$u(t) = K_p e(t) \quad (\text{Ec. 1.6})$$

Si se aplica la transformada de *Laplace* se obtiene:

$$U(s) = K_p E(s)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

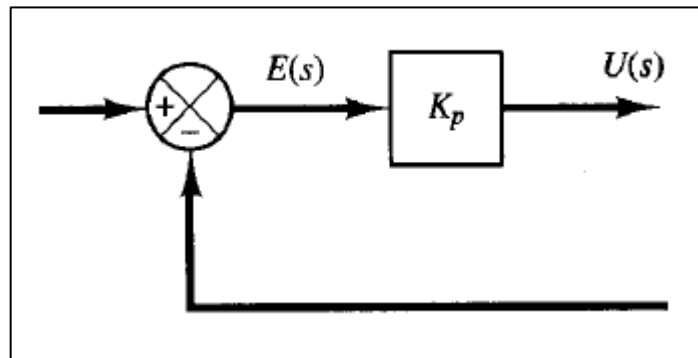
Si se aplica la transformada Z se obtiene:

$$U(z) = K_p E(z)$$

$$\frac{U(z)}{E(z)} = K_p$$

En donde K_p se considera la ganancia proporcional, cualquiera que sea el mecanismo real y la forma de potencia de operación, el controlador proporcional es, en esencia, un amplificador con ganancia ajustable, como bien se mencionó antes.

Figura 6. **Diagrama de bloques de un controlador proporcional**



Fuente: OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de control moderna*. p. 215.

1.3.4. Control integral

Para un controlador con acción de control integral, el valor de la salida del controlador $u(t)$ se cambia a razón proporcional a la señal de error $e(t)$ es decir:

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t)$$

O bien

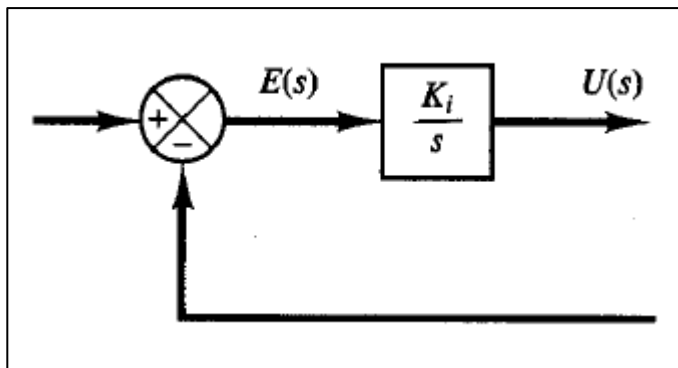
$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

En donde K_i es una constante ajustable. Y la función de transferencia del controlador integral es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

Si se duplica el valor de $e(t)$ el valor de $u(t)$ varía dos veces más rápido, para un error de cero, el valor $u(t)$ permanece estacionario. Como se puede observar en la fórmula anterior el control integral añade un polo en el origen, y el sistema se vuelve menos estable.

Figura 7. **Diagrama de bloques de un controlador integral**



Fuente: OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de control moderna*. p. 216.

1.3.5. Control proporcional-integral

El control proporcional-integral decrementa el tiempo de subida, incrementa el sobre impulso y el tiempo de estabilización, y tiene efecto de eliminar el error de estado estable, pero empeorará la respuesta transiente. La acción de control de un controlador proporcional-integral (PI) se define mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

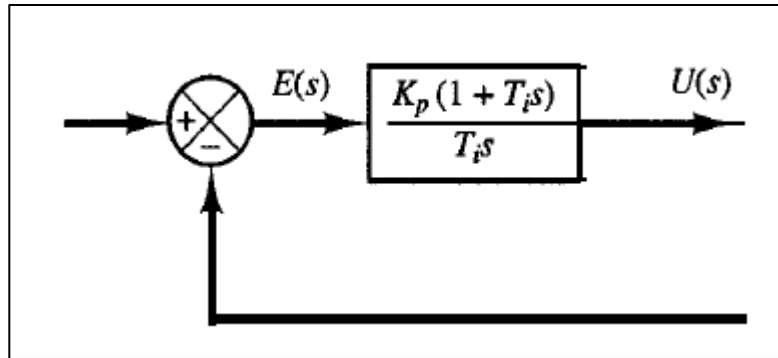
Si se aplica la transformada de *Laplace* se obtiene:

$$U(s) = K_p E(s) + \frac{1}{T_i s} E(s)$$
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{s T_i} \right)$$

En donde K_p es la ganancia proporcional, T_i se denomina tiempo integral.

El tiempo integral ajusta la acción del control, mientras que un cambio en el valor de K_p afecta las partes integral y proporcional de la acción de control. El inverso del tiempo integral T_i se denomina velocidad de reajuste, la velocidad de reajuste es la cantidad de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control. La velocidad de reajuste se mide en términos de las repeticiones por minuto.

Figura 8. **Diagrama de bloques de un controlador proporcional-integral**



Fuente: OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de control moderna*. p. 217.

1.3.6. Control proporcional-derivativo

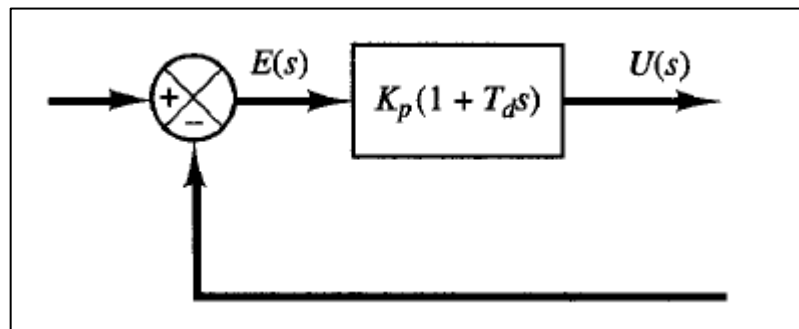
El controlador proporcional-derivativo reduce el sobre impulso y el tiempo de estabilización, por lo cual tendrá efecto de incrementar la estabilidad del sistema mejorando la respuesta del sistema. La acción de control de un controlador proporcional-derivativo (PD) se define mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Donde K_p es la ganancia proporcional y T_d es una constante denominada tiempo derivativo. Tanto K_p como T_d son ajustables. La acción de control derivativa, en ocasiones denominada control de velocidad, ocurre donde la magnitud de la salida del controlador es proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error.

La acción de control derivativa no se usa nunca sola, debido a que solo es eficaz durante periodos transitorios.

Figura 9. **Diagrama de bloques de un controlador proporcional-derivativo**



Fuente: OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de control moderna*. p. 217.

1.3.7. Control proporcional-integral-derivativo

A la combinación de una acción de control proporcional, una acción de control Integral y una acción de control derivativo se le denomina acción de control Proporcional Integral Derivativo (PID). Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. Y la ecuación que la representa se obtiene mediante.

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

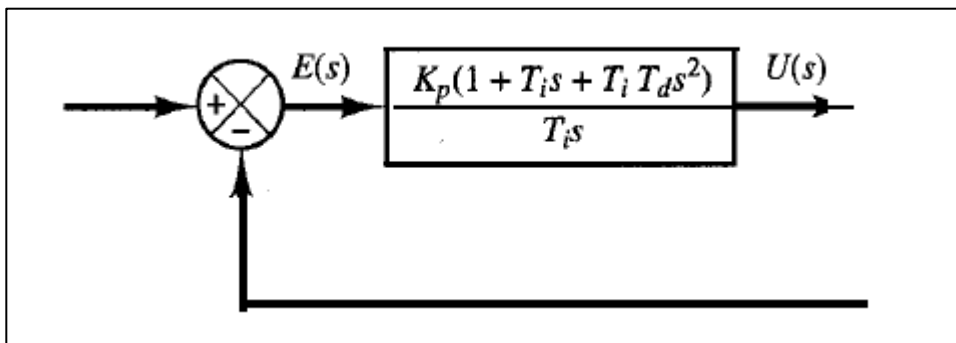
O la función de transferencia es

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{sT_i} + T_d s \right)$$

Donde:

- K_p : es la ganancia proporcional
- T_i : es el tiempo integral
- T_d : es el tiempo derivativo

Figura 10. **Diagrama de bloques de un controlador proporcional-integral-derivativo**



Fuente: OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de control moderna*. p. 218.

1.4. Tipos de sistemas de control retroalimentados

Dependiendo del propósito y sus aplicaciones los sistemas de control retroalimentados pueden ser clasificados, de acuerdo con el método de análisis y diseño, los sistemas de control se clasifican en lineales y no lineales, variantes con el tiempo o invariantes con el tiempo. De acuerdo con los tipos de

señales usados en el sistema, se hace referencia a sistemas en tiempo continuo y en el tiempo discreto, o sistemas modulados y no modulados, por lo general un sistema de control se clasifican de acuerdo con su propósito principal.

Un resumen de la clasificación general es la siguiente:

- Sistemas de control lineales y no lineales
- Sistemas de control variantes e invariantes con el tiempo

1.4.1. Sistemas de control lineales y no lineales

Al mencionar los sistemas de control lineales se puede definir que estos no existen en la práctica, todos los sistemas físicos son no lineales en algún grado, y esta clasificación está hecha de acuerdo con los métodos de análisis y diseño.

Por otra parte, los sistemas de control retroalimentados son idealmente fabricados para simplificar el análisis y el diseño. Al observar las magnitudes de las señales en un sistema de control se identifican que están limitadas en intervalos en los cuales los componentes del sistema exhiben una característica lineal, y se define a este sistema esencialmente lineal, sin embargo, si las magnitudes se extienden más allá del intervalo de posición lineal, el sistema no se debe seguir considerando lineal.

1.4.2. Sistemas de control variantes e invariantes en el tiempo

Si las señales de entrada en un sistema de control son estacionarias durante la operación del sistema con respecto al tiempo, se dice que el sistema de control se puede considerar invariante con el tiempo.

En la práctica, la mayoría de los sistemas físicos contienen elementos que derivan o varían con el tiempo, aunque un sistema variante en el tiempo sin no linealidades es aún un sistema lineal, el diseño y el análisis de este tipo de sistemas son mucho más complejos que los que de un sistema lineal invariante con el tiempo.

Un claro ejemplo es la resistencia de la bobina de un motor eléctrico, la cual variara cuando el motor es excitado por primera vez y su temperatura este aumentando.

1.4.2.1. Sistemas de control en el tiempo continuo

Cuando las señales en un sistema de control en varias partes del sistema son todas funciones de la variable continua tiempo t . se denomina sistema de control en el tiempo continuo. Estas señales se pueden clasificar posteriormente como ca o cd , sin embargo, no hay que caer en el error de confundir este tipo de señales con las señales de ca y cd utilizadas en el área de la ingeniería eléctrica, y en lo referente a sistemas de control tienen un significado muy distinto.

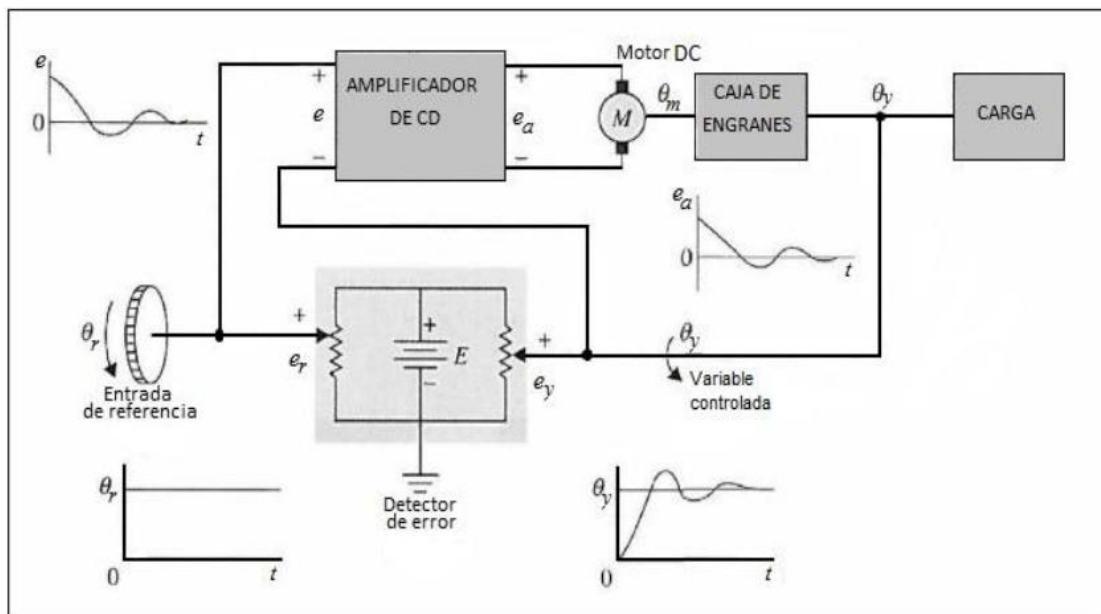
Un sistema de control de cd simplemente implica que las señales no son moduladas, pero aún son señales de ca de acuerdo con la definición anterior. El

esquema de un sistema de control de ca las señales en el sistema están moduladas, esto es, la información se transmite mediante una señal portadora de ca.

En la práctica, no todos los sistemas de control son estrictamente de *cd* o *ca* un sistema puede incorporar elementos de ambos.

En resumen, un sistema de control *cd* trabaja con señales no moduladas, sin embargo, aún siguen siendo señales de *ca*. En la figura 11 se muestra el diagrama de un sistema de control de *cd* en lazo cerrado.

Figura 11. **Diagrama de un sistema de *cd* en lazo cerrado**



Fuente: KUO, Benjamin C. *Sistemas de control automático*. p. 17.

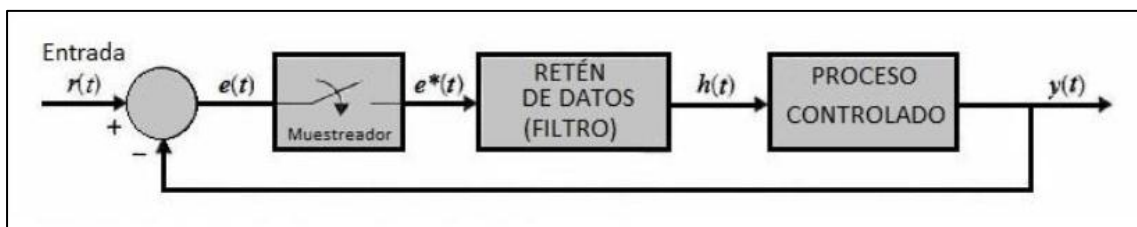
1.4.2.2. Sistemas de control en el tiempo discreto

La principal diferencia entre un sistema de control en el tiempo discreto de un sistema continuo es que las señales de control se presentan en uno o en varios puntos del sistema en forma de pulsos o códigos digitales.

Normalmente, los sistemas en el tiempo discreto se subdividen en sistemas de control de datos muestreados y sistemas de control digital. Los sistemas de datos muestreados se refieren a una clase más general de sistemas en tiempo discreto en los que las señales están en la forma de pulsos de datos. En cambio, un sistema de control digital se compone en el uso de una computadora o controlador digital en el sistema, de tal forma que las señales están en código digital, dicho de otra forma, en código binario.

Estos sistemas reciben la información de forma intermitente y en intervalos de tiempo precisos, en la figura 12 se muestra el funcionamiento de un sistema de datos muestreados, donde una señal continua $r(t)$ es aplicada al sistema, la señal de error $e(t)$ es muestreada por un dispositivo de muestreo que proporciona a su salida una secuencia de pulsos.

Figura 12. **Diagrama de bloques de un sistema de control de datos muestreados**



Fuente: KUO, Benjamin C. *Sistemas de control automático*. p. 18.

2. SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

En este capítulo se describirán los aspectos que se consideran importantes para cada elemento de los sensores de temperatura y humedad, es decir, los aspectos necesarios que se deben de considerar para la correcta elección de los distintos sensores para la aplicación de monitoreo.

Es muy común que los sistemas de instrumentación electrónica consistan en componentes que realizan acciones de medición y otras de registro de los resultados, el sistema consta de variables de entrada que en la mayor parte de sistemas no es eléctrica, esta transmisión de energía se puede dar de las formas:

- Mecánica
- Química
- Óptica
- Térmica

Se hablará de los transductores y su importancia según su aplicación, el método de conversión de la energía, la naturaleza de la señal de salida, entre otros.

2.1. Introducción a la medida de temperatura y humedad

Tanto la medición de temperatura y de humedad consisten en una de las principales mediciones que se efectúan en procesos industriales de control de laboratorios de instrumentación o de procesos electrónicos. Las limitaciones

que se pueden tener que un sistema, puede ser derivado a la aplicación que se desea utilizar o a la precisión y exactitud, o por la velocidad de captación de la temperatura, esto debido a la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor, así también del tipo de instrumento indicador.

2.2. Tipos de transductores

Los sistemas de control de variables consisten en distintos componentes para realizar una medición, por lo general son tres elementos principales: un dispositivo de Entrada, un dispositivo de procesamiento y un dispositivo de salida, el tipo de sistema depende de qué se va a medir y de qué manera se van a presentar los resultados.

En la mayoría de las variables, la señal de entrada de los sistemas de instrumentación no es eléctrica. Y con el fin de poder manipular estas variables y convertirlas en señales eléctricas se utiliza un dispositivo llamado transductor. De otra forma se puede definir a un transductor como un dispositivo que, al ser afectado por la energía de un sistema de transmisión, proporciona energía en la misma forma o en otra a un segundo sistema de transmisión.

Los transductores se pueden clasificar según su operación, método de conversión de energía, naturaleza de la señal de salida, etc. Y por lo genera todas las clasificaciones terminan en áreas que se superponen. A continuación, se lista una breve clasificación de los transductores.

- Transductores resistivos
- Transductores magnéticos
- Transductores capacitivos
- Transductores piezoeléctricos

- Transductores mecánicos de fuelle y de diafragma
- Transductores térmicos
- Transductores de ionización

2.2.1. Galgas extensiométricas

Las galgas extensiométricas es un claro ejemplo de transductor pasivo que convierte un desplazamiento mecánico en un cambio de resistencia, una galga extensiométrica es un dispositivo delgado, que se puede unir o soldar a una gran variedad de materiales con el fin de medir los esfuerzos aplicados. La resistencia de la lámina delgada cambia con la longitud de medida que el material al cual esta soldada sufre tensiones o compresiones. Este cambio en la resistencia es proporcional a la tensión aplicada y es medido a través de un puente *Wheatstone* adaptado especialmente.

Adicional a ello en las galgas extensiométrica existe un factor de galga llamado de la misma manera, factor de galga K , la cual está definida como la unidad de cambio de la resistencia por unidad de cambio de longitud.

2.2.2. Transductor de desplazamiento

La base de muchos tipos de transductores es convertir una fuerza aplicada en un desplazamiento. Los elementos mecánicos que son usados para convertir la fuerza aplicada en desplazamiento se les denomina dispositivos sumadores de fuerza. Los más frecuentes transductores de desplazamiento son:

- Diafragma plano o corrugado
- Fuelles

- Tubo de *Bourdon*, circular o enrollado
- Tubo recto
- Masa en cantiléver con suspensión simple o doble
- Par de pivote

El desplazamiento creado por la acción del dispositivo sumador de fuerza se convierte en un cambio de algún parámetro eléctrico. Los principios eléctricos más utilizados en la medición de desplazamiento son:

- Capacitivo
- Inductivo
- Transformador diferencial
- Ionización
- Oscilación
- Fotoeléctrico
- Piezoeléctrico
- Potenciométrico
- Velocidad

2.3. Sensores de temperatura

La medición de la temperatura constituye una de las mediciones más comunes e importantes que se efectúan actualmente en los procesos industriales. Para estas mediciones es importante señalar la necesaria comprensión clara de los distintos métodos de medida, con sus ventajas y sus desventajas propias para lograr una selección óptima del sistema adecuado.

2.3.1. Ventajas y desventajas de los sensores de temperatura

Todos los dispositivos y sensores utilizados en la actualidad poseen características que son útiles para las aplicaciones para las que fueron diseñadas, sin embargo, debido a su misma naturaleza poseen desventajas que los hacen vulnerables ante varias situaciones. Las ventajas que poseen los sensores de temperatura es que son de manufactura accesible, es decir que su fabricación es simple y rápida y entre sus mayores desventajas se encuentra que son muy sensibles a los golpes y a las vibraciones sin mencionar que su mantenimiento constante los pueden volver caros a la hora de operar, en la tabla número I se observan las ventajas y desventajas de los sensores de temperatura.

Tabla I. **Ventajas y desventajas de los sensores de temperatura**

Núm.	Ventajas	Desventajas
1	Económico	No son lineales
2	Amplia variedad	Configuraciones limitadas
3	Amplio rango de temperaturas	algunos son de baja sensibilidad
4	Estable	Sensibles a vibraciones y golpes
5	Buena exactitud	Mantenimientos constantes
6	Tiempos de respuesta rápidos.	

Fuente: elaboración propia.

2.4. Tipos de sensores de temperatura

Como se mencionó antes, para los distintos métodos de medición de la temperatura existen varios métodos para hacerlo, y dependiendo del método se utilizan distintos instrumentos de medición de temperatura entre los cuales están:

- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólido, líquido, o gases).
- Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).
- Variación de resistencia en un semiconductor (termistores).
- f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).

Tomando en cuenta lo anterior se tienen a disposición los siguientes instrumentos de medición de temperatura: termómetros de vidrio, termómetros bimetalicos, elementos primarios de bulbo y capilar de rellenos de líquido, gas o vapor, termopares, pirómetros de radiación, termómetros de resistencia, termómetros ultrasónicos, termómetros de cristal de cuarzo.

2.4.1. Termómetro de vidrio

Los termómetros de vidrio se componen de un depósito de vidrio que contienen varios elementos, comúnmente y el más utilizado es el mercurio y este actúa de tal forma que al calentarse se expande y sube en el tubo capilar.

Los márgenes de trabajo de los fluidos empleados son:

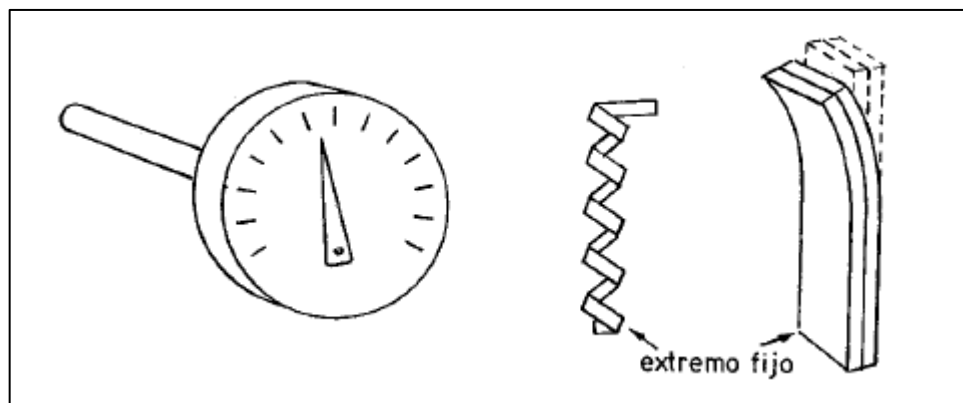
- Mercurio
- Mercurio (tubo capilar lleno de gas)
- Pentano
- Alcohol
- Tolueno

2.4.2. Termómetro bimetalico

El principio de funcionamiento de los termómetros bimetalicos es en el distinto coeficiente de dilatación de dos metales distintos, estos metales pueden ser, latón o acero y una aleación de ferroníquel, las láminas bimetalicas pueden ser rectas o curvas, formando espirales o hélices.

Un termómetro bimetalico típico contiene pocas partes móviles, solo la aguja indicadora sujeta al extremo libre de la espiral o de la hélice y el propio elemento bimetalico.

Figura 13. Termómetro bimetalico



Fuente: CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. p. 225.

2.4.3. Termómetro de bulbo y capilar

La composición principal de los termómetros de bulbo consiste esencialmente en un bulbo conectado por un capilar a una espiral. Cuando la temperatura del bulbo cambia, el gas o el líquido en el bulbo se expanden y la

espiral tiende a desarrollarse moviendo la aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura en el bulbo.

Los termómetros actuados por líquido tienen el sistema de medición lleno de líquido y su dilatación es proporcional a la temperatura. Se puede determinar que el volumen del líquido depende principalmente de la temperatura del bulbo, los principales líquidos que utiliza el termómetro de bulbo son: alcohol y éter.

Dependiendo del líquido que se utilice el cambio de la medición puede variar en estos instrumentos de medición es de 150 a 500° Centígrados.

También están los termómetros actuados por gas y los termómetros actuados por vapor, los primeros están llenos completamente de gas y al aumentar la temperatura, la presión del gas aumenta proporcionalmente y por lo tanto estos termómetros tienen escalas lineales, los segundos que son actuados por vapor contienen un líquido volátil y se basan en el principio de presión de vapor, al aumentar la temperatura aumenta la presión del vapor del líquido y la escala de medición no es uniforme.

2.4.4. Termómetros de resistencia

Los termómetros de resistencia emplean sondas que dependen de las características de la resistencia en función de la temperatura, que son propias del elemento de detección.

Y consiste generalmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado, bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado coeficiente de temperatura que expresa a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

La relación que existe entre estos factores se puede evidenciar en la siguiente ecuación.

$$R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

Donde:

- R_0 : resistencia en ohmios a 0° C
- R_t : resistencia en ohmios a t° C
- α : coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0 °C y 100 °C es de 0,003850 ohmios

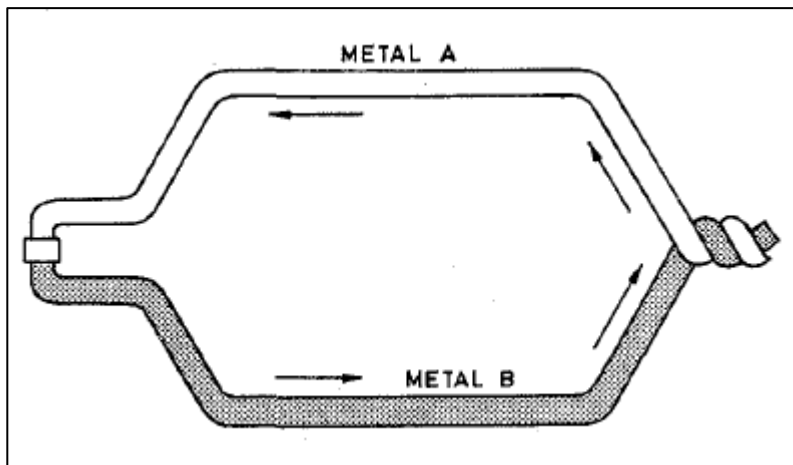
Los materiales a utilizar para los termómetros de resistencia son el platino y el níquel, aunque el platino es el material más adecuado desde el punto de vista de la medición, pero presenta el inconveniente del alto precio, y el níquel a su vez es más barato que el platino, pero posee una resistencia más elevada con una mayor variación por grado.

Adiciona a estos dos materiales también se puede utilizar el cobre, aunque tiene una variación por grado mayor al níquel y al platino, y una gran desventaja es su falta de linealidad en su relación resistencia-temperatura.

2.4.5. Termopares

El funcionamiento de un termopar se basa en el principio de *Seebeck* descubierto en 1821, este principio se basa en la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones se mantienen a distintas temperaturas, dicha circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto *Peltier* que provoca la liberación o dependiendo del caso la absorción de calor en la unión de los metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto *Thomson* que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas.

Figura 14. Termopar



Fuente: CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. p. 238.

La circulación de los dos efectos, de Peltier y de Thomson, es la causa de la circulación de corriente al cerrar el circuito termopar. Esta corriente puede calentar el termopar y afectar la precisión en la medida de temperatura, por lo que durante la medición debe hacerse al mínimo valor.

2.4.6. Termistores

También denominados semiconductores electrónicos y tienen un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que presenta unas variaciones rápidas y extremadamente grandes para los cambios relativamente pequeños en la temperatura. Generalmente los termistores se fabrican con óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio y otros metales y están encapsulados.

La relación entre la resistencia del termistor y la temperatura viene dada por la siguiente ecuación.

$$R_t = R_0 e^{\beta(\frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_0})} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

- R_t = resistencia en ohmios a la temperatura absoluta T_t
- R_0 = resistencia en ohmios a la temperatura absoluta de referencia T_0
- β = constante dentro de un intervalo moderado de temperatura

Para obtener un mejor funcionamiento los termistores se conectan en un puente de *Wheatstone*, se puede mencionar que para obtener una buena estabilidad en los termistores es necesario envejecerlos adecuadamente, en intervalos amplios de temperatura, los termistores tienen características no lineales. Al poseer un alto coeficiente de temperatura poseen una mayor sensibilidad que las sondas de resistencia y permiten incluso intervalos de medida de 1° centígrado que son de pequeño tamaño y su tiempo de respuesta depende de la capacidad térmica y de la masa del termistor variando de 0,5 a 10 segundos.

Se debe considerar la distancia entre el termistor y el instrumento de medida siempre que el elemento posea una alta resistencia comparada con la de los cables de unión. La corriente que circula por el termistor a través del circuito de medida sea debida exclusivamente a los cambios de temperatura del proceso.

Es importante mencionar que los termistores encuentran su principal aplicación en la medición, la compensación y el control de temperatura, y como medidores de temperatura diferencial.

2.5. Sensores de humedad

Así como la medida de temperatura es una variable muy importante y muy utilizada en procesos industriales, existen otras variables que también lo son y que a su vez se pueden clasificar como variables físicas y químicas. De esto se menciona la variable de la humedad que se encuentra entre las variables físicas.

La importancia para la medición de humedad y en específico para la utilización de la interfaz de monitoreo de humedad en un laboratorio de metrología es para garantizar los estándares de los dispositivos electrónicos que se calibran en dicho laboratorio.

Algunos ejemplos de las variables físicas son:

- El peso
- La velocidad
- La densidad
- Peso específico

- La humedad
- Punto de rocío
- La viscosidad
- La consistencia

Y entre las medidas de las variables químicas se tienen:

- La conductividad
- pH
- Redox
- Composición de gases en una mezcla

2.5.1. Ventajas y desventajas de los sensores de humedad

al igual que los sensores de temperatura, los sensores de humedad poseen ventajas y desventajas tanto para su aplicación como en su utilización, la clave de optimizar su rendimiento está en la correcta elección del sensor a utilizar, conocer las ventajas que tiene y por supuesto poder reconocer las desventajas que pueden tener, sabiendo esto se puede utilizar el sensor de una forma correcta. en la tabla III se observan las ventajas y desventajas de los sensores de humedad.

Tabla II. **Ventajas y desventajas de los sensores de humedad**

Núm.	Ventajas	Desventajas
1	Económicos	Elevados costes de mantenimiento
2	Buena exactitud	medición lenta
3	amplio rango de medición	no pueden utilizarse para mediciones multipunto
4	elevada precisión	sensibles a vibraciones y golpes
5	Estabilidad a largo plazo	

Fuente: elaboración propia.

2.6. Tipos de sensores de humedad

Como parte fundamental en la medición de las industrias se pueden mencionar distintas variables para la medición de la humedad, ya sea para procesos de tratamientos térmicos, en secadores, y humidificadores, en la industria textil, entre otros.

Varios son los términos que se emplean al momento de hablar de humedad entre los cuales se lista a continuación.

- Humedad absoluta
- Porcentaje de humedad
- Humedad relativa
- Temperatura seca
- Temperatura húmeda
- Punto rocío
- Contenido humedad

2.6.1. Humedad en el aire y en los gases

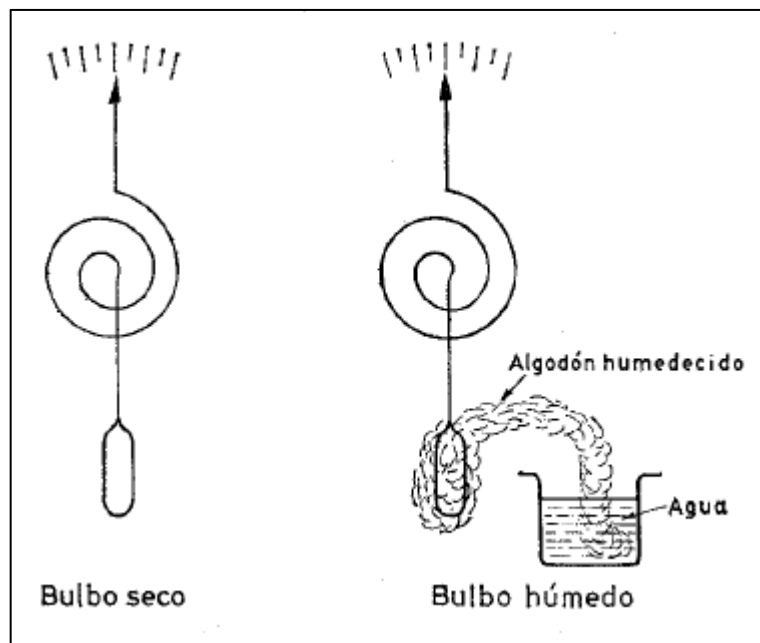
Para determinar la humedad en el aire y en los gases se puede utilizar distintos métodos, uno de los principales es el método de elemento de cabello o de nailon, y este método se basa en la expansión o contracción lineal que son características de los materiales sensibles a las variaciones de humedad, tales como los cabellos naturales o los fabricados de fibra de nailon.

Cabe mencionar que la precisión es del orden de $\pm 3 \%$ a $\pm 5 \%$ y su campo de medida de 15% a 98% H. R.

Adicional a este método de medición también se puede utilizar el llamado Bulbo seco y bulbo húmedo, este instrumento se basa en la captación de la temperatura ambiente o seca y de la temperatura húmeda, mediante dos termómetros, uno seco y otro con su bulbo constantemente humedecido.

Este instrumento tiene la ventaja de dar una gran precisión cuando la humedad relativa esta próxima a la saturación, con lo que permite el uso de aparatos con un campo de medida muy estrecho, en cambio su utilización en cámaras pequeñas su uso no es el más adecuado, porque el agua del bulbo se incorpora al ambiente y falsea la lectura.

Figura 15. **Bulbo seco y bulbo húmedo**



Fuente: CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. p. 325.

2.6.2. Célula de cloruro de litio

En su forma básica, la célula de cloruro de litio se compone en una célula inmersa en cloruro de litio con una rejilla de láminas de oro. La sal tiene la propiedad de variar considerablemente de resistencia al aumentar o disminuir la humedad del ambiente porque libera o absorbe iones de película de soporte.

Como la humedad relativa viene determinada simultáneamente por el contenido de la humedad y por la temperatura del aire, es obvio que es necesario compensar esta. La proporción de la sal de cloruro de litio en la película que recubre la célula determina el campo de medida de la humedad, cuanto más alta sea la proporción de la sal tanto más bajo será el campo de medida. El elemento no puede utilizarse en atmósferas con mucho polvo, con dióxido de azufre, vapores ácidos, amoniacos, cloro, vapores alcalinos, acetileno, óxido de etileno y atmósferas contaminadas con sal.

2.6.3. Sensor de polímero

Este sensor está constituido por una rejilla conductora que cuenta con una base de poliestireno tratada con ácido sulfúrico. Esta variación que se presenta en el ambiente es de 30 % a 90 % H.R. cambia la resistencia de la superficie del sensor, debido a que el radical sulfato libera o absorbe los iones hidrógeno procedentes de la humedad del ambiente. Para realizar las mediciones con este sensor es muy común hacerlo con compensadores de humedad y puentes de *Wheatstone*.

2.7. Humedad en los sólidos

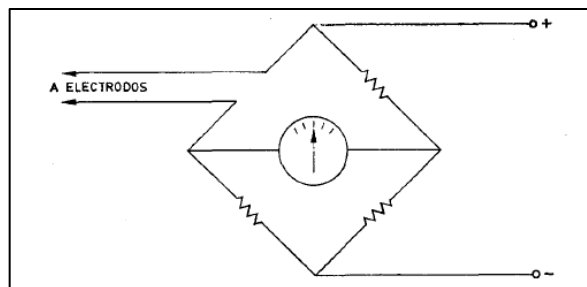
Existen varios métodos para la determinación de la humedad en los sólidos, entre los principales se mencionan:

- Secado térmico
- Método de conductividad

El primero es el método más antiguo y básicamente se emplea como comprobación de los demás sistemas, consiste en aplicar calor al material en estado sólido, hasta que no puede liberarse más agua. El agua se evapora mientras su presión de vapor dentro del material es mayor que la del aire del horno que lo rodea, este método es muy fácil de utilizar sin embargo tiene inconvenientes del excesivo tiempo que requiere.

El segundo método consiste en la conductividad de una muestra del producto al pasar una corriente a través de los electrodos en contacto con el mismo, estos electrodos forman parte de un puente de *Wheatstone* con la indicación, el registro o el control de la humedad.

Figura 16. Método de conductividad



Fuente: CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. p. 328.

2.7.1. Método de infrarrojos

Cuando el proceso de fabricación es principalmente de papel el método más común para determinar la humedad es el de infrarrojos, porque una fuente de rayos infrarrojos emite un haz de rayos hacia la superficie del material cuya humedad desea medirse. La onda emitida esta seleccionada de tal forma que el agua contenida en el proceso absorbe la máxima radiación infrarroja mientras que la celulosa absorbe el mínimo. Un detector capta la radiación que atraviesa el material e indica la humedad correspondiente. Para que esta medida sea independiente de la capa de aire intercalada entre el emisor y el detector, se acostumbra a utilizar otra fuente adicional que actúa como referencia. El conjunto emisor-detector suele ser móvil y así de este modo explorar toda la banda de papel.

2.7.2. Método de radiación

Para el método de radiación se utiliza una fuente de neutrones de alta energía que se dirige contra el material del proceso y parte de esta radiación emitida es reflejada principalmente por los átomos de hidrogeno existentes en las moléculas del material, como el hidrogeno está asociado químicamente con el agua, es posible determinar muy exactamente la humedad del material. Este método en particular es caro, requiere una supervisión de seguridad y una comprobación periódica de la fuente de neutrones

2.7.3. Punto de rocío

Para la medición de punto de rocío se utiliza la cámara de niebla, la célula de cloruro de litio, el sistema de condensación en un espejo y el analizador de infrarrojos. Esta cámara de niebla realiza una medida manual discontinua del

punto de rocío y esta consiste en una pequeña cámara con una bomba manual que permite comprimir una muestra de gas, el operador toma nota de la presión y la temperatura inicial del gas y lo comprime a una presión dada. Lo que sigue es abrir una válvula de escape a la atmosfera con lo que el gas sufre una expansión adiabática y baja de temperatura.

Este ensayo se repite varias veces comprimiendo cada vez más el gas hasta que la temperatura alcanzada en la expansión hace aparecer niebla en la cámara, a esto se le denomina el punto de rocío.

2.8. Componentes de un sistema de control para temperatura y humedad

Los sensores de humedad y temperatura que se encuentran en un sistema de control pueden enmarcarse en un proceso, generalmente de sistemas de control, este es muy específico dependiendo de cada aplicación y varía mucho con las especificaciones de cada fabricante, pero en general tienen un esquema muy similar que en la figura 17 se puede observar que de los sensores pasa a la etapa de adaptación, el sistema de control regula el proceso y la actuación o comunicación va hacia los actuadores que muestran los resultados solicitados.

Figura 17. **Elementos de un sistema de control**



Fuente: elaboración propia, empleando Paint.

3. SOFTWARE DE DESARROLLO LABVIEW

3.1. Instrumentación virtual

Los conceptos básicos de instrumentación virtual nacen a partir del uso continuo del computador personal al tomarlo como un instrumento con el que se podía medir distintas variables como la temperatura, humedad, presión, etc. Basados en la recopilación de bases de datos mostrados a un transductor para medir cambios en un parámetro físico, es decir el computador empieza a ser utilizado para hacer mediciones de fenómenos físicos y que son representados en diferentes señales, tanto de voltaje como de corriente, sin embargo el concepto de instrumentación virtual va mucho más allá de una simple medición de corriente o de voltaje, sino que también van ligados a procesos de análisis, almacenamiento de datos, manipulación de instrumentos de medición.

Estos instrumentos de medición se pueden incluir los osciloscopios, analizadores de espectro y dicho de otra forma la instrumentación virtual es un campo interdisciplinario que combina la detección de hardware, software y tecnologías a fin de crear flexibles y sofisticados instrumentos de control y aplicaciones de monitoreo.

Una de las aplicaciones más comunes en la investigación es la rama de la biomédica que utiliza la instrumentación virtual para mejorar el entendimiento sobre los efectos en la naturaleza compleja y sobre todo reducir los costos del equipo médico y los procedimientos utilizados.

3.1.1. Definición

Cuando se empezó a trabajar en LabVIEW este era únicamente utilizado como un lenguaje de programación gráfico, que consistía en facilitar la adquisición de datos que originalmente eran procedentes de instrumentos de laboratorio, desde que LabVIEW se empezó a utilizar siempre fue muy fácil su manejo y su procesamiento y definitivamente no es únicamente para la adquisición de datos, LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) es también utilizada para los siguientes aspectos.

- Adquisición de datos de instrumentos
- Procesamiento de datos
- Análisis de datos
- Control de instrumentos y equipos
- Monitoreo de variables eléctricas

3.2. Que es LabVIEW

LabVIEW hace posible traer información del mundo exterior en un ordenador, se pueden tomar decisiones basados en la adquisición de la información y enviar de vuelta al computador para controlar las variables deseadas. Esta capacidad que posee LabVIEW de obtener datos y utilizarlos dentro de un programa permite interactuar y controlar eventos en el mundo real, adicional es una manera rápida y eficiente de desarrollar un nuevo prototipo o dispositivo de algún instrumento y alguna variable que se desea medir.

LabVIEW es un programa muy bien diseñado en cuanto a los cambios que se dan entre una versión y otra, y las versiones anteriores comparada con las más recientes se verá muy poca diferencia, sin embargo, para poder utilizar

LabVIEW es necesario poder adquirir algunos paquetes de los cuales se mencionan algunos a continuación.

- Paquete base
- Paquete completo
- Edición para estudiantes
- Paquete profesional

3.2.1. Introducción al LabVIEW

Antes de iniciar con el aplicativo LabVIEW es importante tener en cuenta algunas convenciones de significados de términos utilizados en el programa.

- *Function and Control Names:* son las funciones y controles que se seleccionaran en los programas creados.
- *Menu Selections:* son las acciones que se inician desde un menú.

A los programas que se crean en LabVIEW se les denomina instrumentos virtuales o Vis e inicialmente como se ha mencionado provienen del control de instrumentos. Aunque hoy en día no solo se trabaja sobre el control de instrumentos, las aplicaciones se han extendido a varias ramas de la ingeniería, tanto en aplicaciones de electrónica, comunicaciones, matemáticas entre otras.

3.3. Partes de un instrumento virtual (VI)

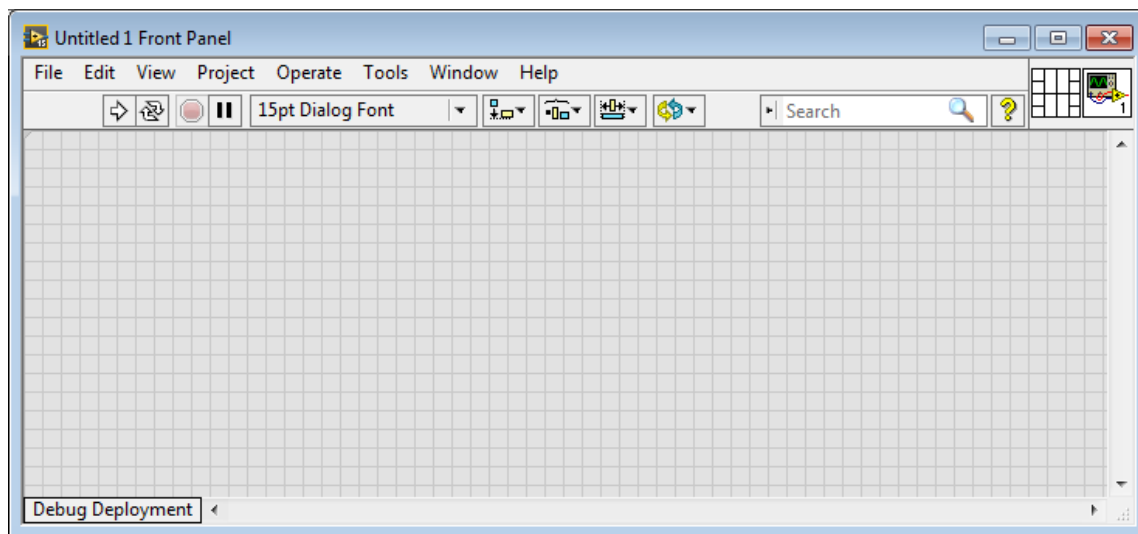
Los instrumentos virtuales tienen varias características tanto de programación gráfica como modular, con estos se pueden construir cualquier aplicación que se desee, en los cuales se incluyen:

- Panel frontal
- Diagrama de bloques
- Paletas de controles
- Controles e indicadores

3.3.1. Panel frontal

En el panel frontal se muestran los controles, mandos, botones, gráficos y representa la interface gráfica de un VI que es una interfaz de usuario y el VI que se está creando, en la figura 18. se muestra un ejemplo en blanco del panel frontal.

Figura 18. Panel frontal



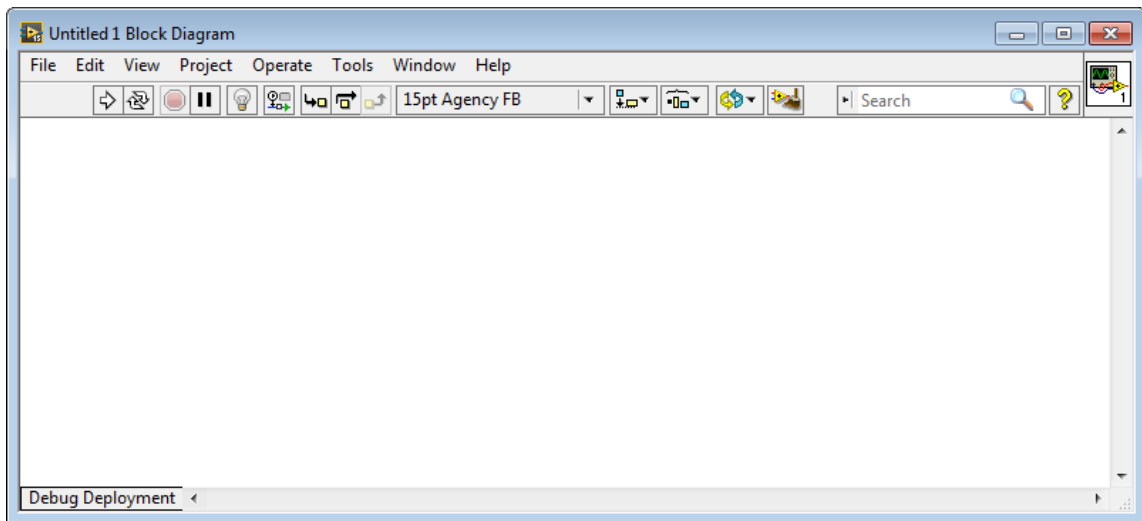
Fuente: elaboración propia, empleando software LabVIEW.

3.3.2. Diagrama de bloques

En los diagramas de bloques se incluyen elementos de programación denominados bloques o funciones y algunas veces también se les denomina subVIs, también incluyen constantes, estructuras y cables los cuales transfieren datos junto con otros objetos de los diagramas de bloques. En la figura 19 se encuentra un ejemplo del diagrama de bloques en blanco.

Cuando se ha creado la ventana del panel frontal, se añade un código que usa representaciones gráficas de funciones para controlar objetos del panel frontal.

Figura 19. Diagrama de bloques

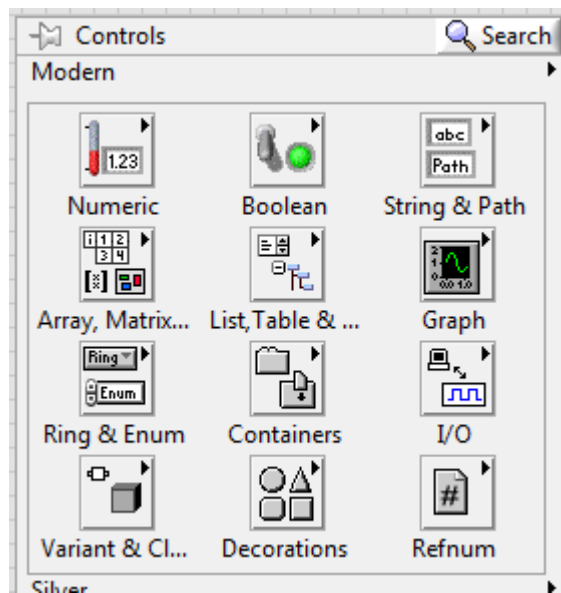


Fuente: elaboración propia, empleando software LabVIEW.

3.3.3. Paletas de controles

En las paletas de controles se encuentran los controles e indicadores que son utilizados en el panel frontal, estas paletas pueden ser divididas en varias categorías para cumplir con las necesidades con las que se crean los Vis de forma predeterminada la paleta de controles se muestra cada vez que se está editando un VI.

Figura 20. Paleta de controles



Fuente: elaboración propia, empleando software LabVIEW.

En la figura 20 se observan los elementos que contiene la paleta de controles, entre los más importantes están:

- Numéricos
- Booleanos

- Arreglos
- Listas y tablas

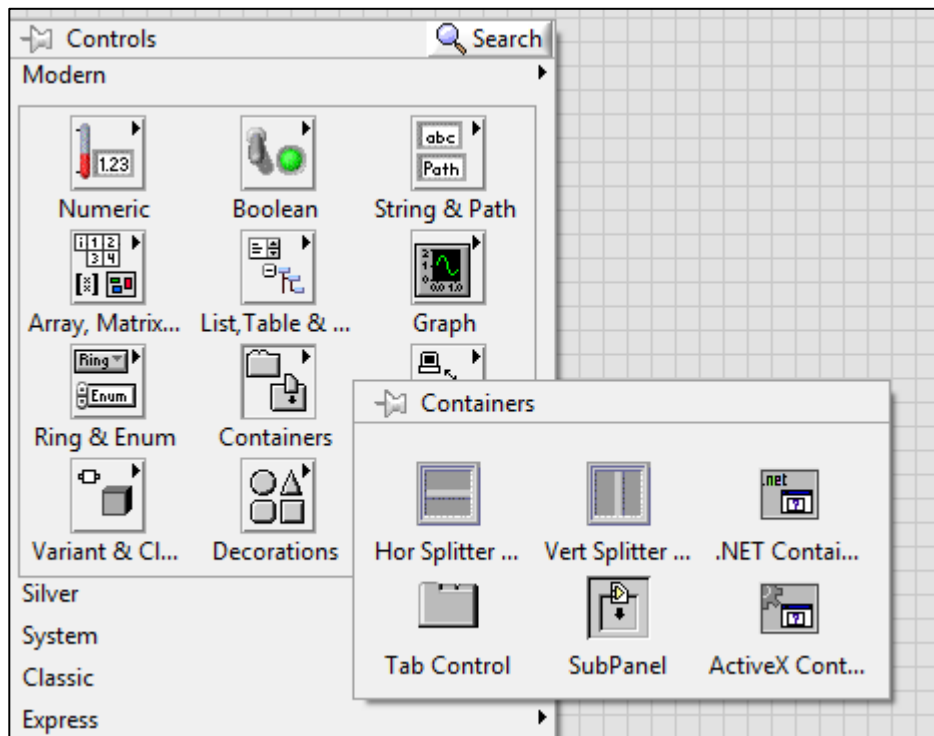
3.3.4. Controles e indicadores

Los paneles frontales también se pueden utilizar como la manera de transmitir entradas y recibir salidas cuando se llaman al VI desde otro diagrama de bloques, se puede crear una interfaz de usuario en un VI y en ella colocar controles e indicadores según sea la necesidad del programa, se puede definir que los controles definen las entradas y los indicadores definen las salidas, algunos ejemplos de indicadores son los siguientes:

- Tablas
- Leds
- Secuencias de estado
- Gráficas

Existen indicadores gráficos los hay de la forma numérica, y son definidos como un entero o un real. En la figura 21 se observa el ejemplo de cómo se emplean las tablas de control.

Figura 21. **Tablas de control**

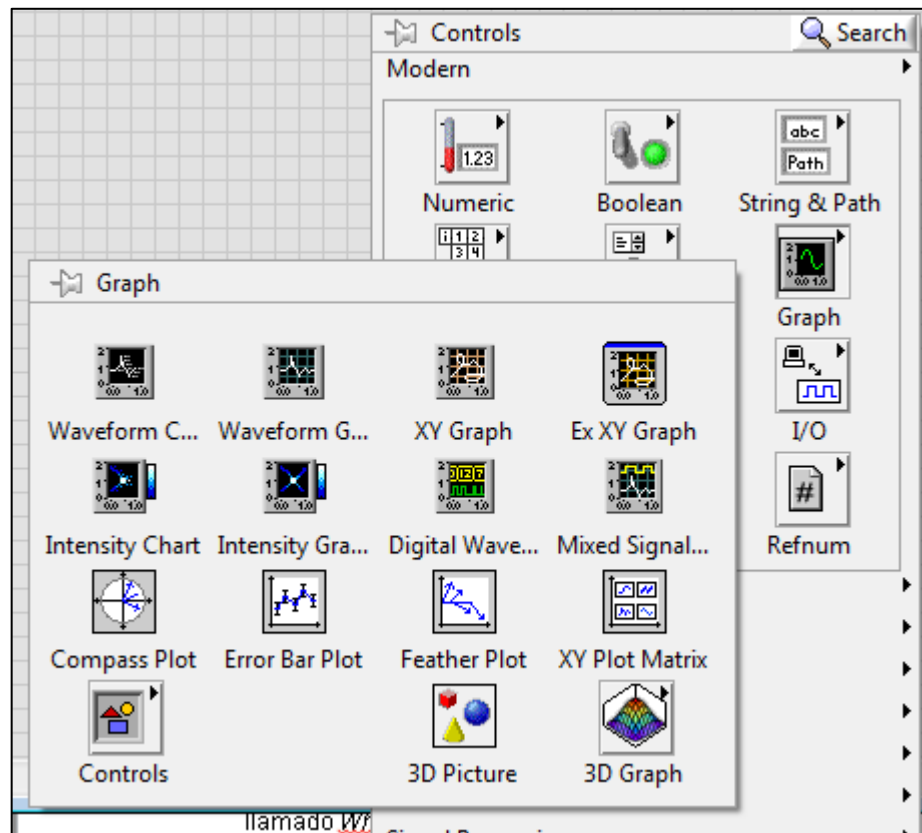


Fuente: elaboración propia, empleando software LabVIEW.

Adicional a las tablas, led y secuencias de estado, también se encuentran en el panel frontal en los controles e indicadores se tienen:

- Controles numéricos
- Control Booleano
- Controles e indicadores de cadena de texto
- Contenedores y organizadores

Figura 22. **Controles y gráficas**



Fuente: elaboración propia, empleando software LabVIEW.

Como se puede observar en la figura 22 se muestran las diferentes opciones para crear distintos tipos de gráficas, dependiendo la de necesidad del VI.

3.4. **Herramientas de LabVIEW**

Las herramientas que se pueden utilizar en LabVIEW son muy útiles para la creación de programas o Vis que permitan un desarrollo óptimo según sea la necesidad de controlar o monitorear un proceso en específico, la principal

herramienta para realizar todo este tipo de desarrollos está basado en las funciones, una función en LabVIEW es una pieza de código de programa que funciona como una unidad, existen varias funciones matemáticas en las cuales se incluyen:

- Funciones matemáticas básicas
- Funciones trigonométricas e hiperbólicas
- Funciones de logaritmo y exponenciales
- Funciones de matrices
- Funciones de ecuaciones diferenciales

Normalmente las funciones aceptan uno o más valores como entradas para devolver un solo resultado, y esto es debido a que LabVIEW es un lenguaje de programación gráfico, las funciones son colocados en diagramas de bloques como nodos.

Estos nodos para funciones matemáticas tienen terminales para entradas y nodos para salidas, los nodos de función están conectados a los nodos de control y los nodos indicadores están conectados a los nodos de salida.

3.4.1. Programación *While Loop*

Como se ha mencionado la programación en LabVIEW está basada en objetos, en forma gráfica, y entre este tipo de programación se puede hacer un llamado *While Loop* que es básicamente una estructura de programación que hace que algunos elementos del programa se repitan continuamente hasta que se cumpla una condición.

3.4.2. Programación de flujo de datos

La programación de flujo de datos significa que un nodo del programa en un diagrama de bloques se ejecuta tan pronto como todas las entradas tienen valores, para este tipo de programación se pueden utilizar varios elementos como los ciclos *While*, matrices o programación *While Loop* los cuales dependerán del uso de las funciones descritas, como por ejemplo, se pueden crear valores en una matriz y que el programa espere hasta que se cumpla una condición específica y al llegar este valor tomar un promedio de los valores de la matriz. En resumen, con la programación de flujo de datos, tan pronto como uno nodo de bloque en el diagrama de bloques tiene valores para todas las entradas, es código de programación se ejecuta.

3.4.3. Tipos de datos y conversiones

Definitivamente no se puede trabajar en LabVIEW sin conocer los tipos de datos y más un sin conocer las conversiones de los mismos, las funciones y controles requieren datos de ciertas formas. Los primeros datos a trabajar son dos tipos principales:

- DBL valores reales de doble precisión
- TF valores verdaderos o falsos
- I32 32-bit entero
- Abc cadena

3.5. Funciones matemáticas en LabVIEW

Las funciones matemáticas que presenta LabVIEW pueden ser desde las más sencillas hasta formulas muy complejas y se pueden utilizar para resolver

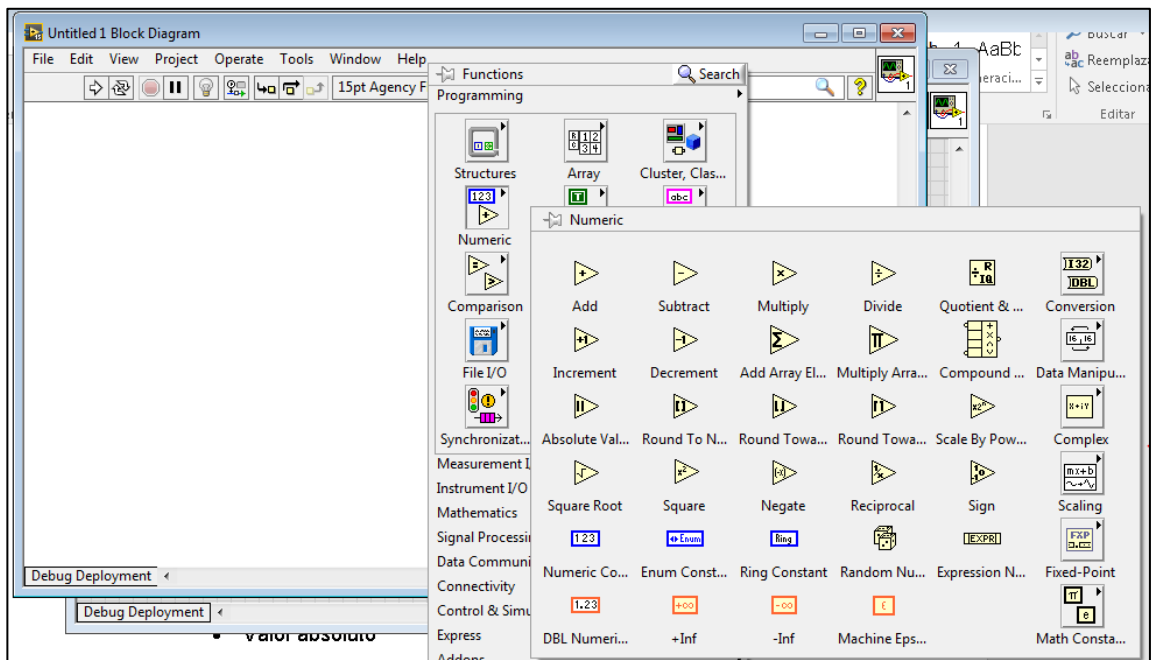
problemas matemáticos básicos o problemas con una alta dificultad, en la paleta de funciones se pueden obtener las funciones matemáticas, a través de una entrada se puede utilizar una función matemática para modificar la salida, esto se puede hacer mediante el diagrama de bloques cuando se crean los VIs.

Las funciones matemáticas de LabVIEW se acceden a través del diagrama de bloques y las funciones en la paleta de controles, al crea un VI en blanco, tanto el panel frontal como el diagrama de bloques es desplegado el menú de funciones matemáticas, a continuación, se colocan algunas de las funciones que tiene el menú.

- Suma
- Resta
- Multiplicación
- División
- Cociente y residuo
- Incremento
- Decremento
- Valor absoluto

Cabe resaltar que no son las únicas funciones matemáticas que se encuentran, se pueden obtener valores utilizando funciones trigonométricas e hiperbólicas, funciones exponenciales que son útiles cuando se trabaja con entradas que tienen que modificar sus salidas para calcular los valores esperados. En la figura 23 se puede observar las distintas funciones numéricas que posee LabVIEW.

Figura 23. Funciones numéricas



Fuente: elaboración propia, empleando software LabVIEW.

3.6. Adquisición de datos

Una de las partes más importantes en la elaboración de proyectos de monitoreo, sin lugar a duda es la adquisición de datos y poder tener la capacidad de extraer datos de una fuente externa, procesar la información obtenida y poder enviar señales de retorno a los dispositivos es algo que distingue a LabVIEW dicha adquisición consiste básicamente en capturar datos de uno o más instrumentos de un laboratorio, un ordenador o un transductor, para después ser almacenado, analizado y procesado de la manera que se desee.

Un ejemplo de adquisición de datos puede ser un sistema simple que requiere un transductor que emita una señal, un hardware de adquisición de datos y una computadora, a primera vista puede resultar sencillo sin embargo hay distintas variables que hacen que el sistema no funcione como se espera, para comenzar no todos los instrumentos generan una señal que pueda ser transmitida sobre un alambre.

Un termómetro, por ejemplo, es un dispositivo para medir temperatura, pero la temperatura se mide visualizando el nivel del líquido dentro del termómetro, así se puede observar que las mediciones visuales son difíciles de registrar en los sistemas informáticos. El acondicionamiento de señales puede ser necesario para ajustar el tipo de señal y entre las principales formas de obtención de datos se encuentran listadas a continuación:

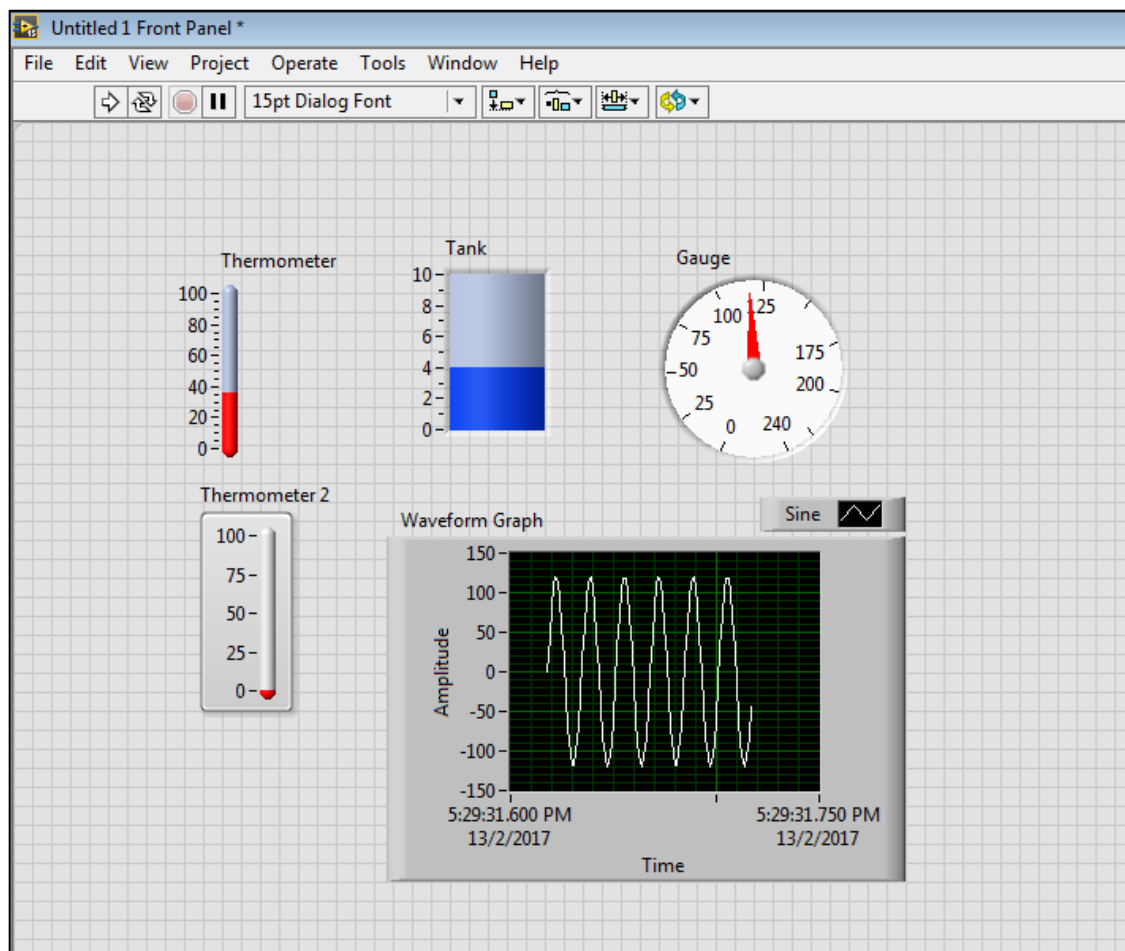
- Señales de voltaje analógicas
- Señales de salida analógicas
- Señales de corriente
- Termopares
- Galgas extensiométricas
- Acelerómetros
- Señales de entrada digital
- Señales de salida digital
- Codificadores de cuadratura

En la figura número 23 se muestran algunos ejemplos de los indicadores que se pueden trabajar en distintos Vis.

Depende del sistema de adquisición de datos a utilizar existen varios factores a considerar, estos se enlistan a continuación:

- Tipos de señales que el sistema necesita manejar
- Los canales de entrada analógicas o digitales
- Los canales de salida analógicas o digitales
- El nivel de precisión del convertidor analógico-digital
- Tiempo de toma de muestras

Figura 24. Indicadores varios



Fuente: elaboración propia, empleando software LabVIEW.

3.6.1. Sistema de adquisición de datos

Es importante definir los tipos de señales con las cuales se desarrollará el proyecto seleccionado, adicional a esto existen sistemas de adquisición de datos que son una extensión del hardware de un sistema informático y debe ser instalado como otros componentes tales como: Impresoras, y discos duros externos, el proceso implica la instalación física del dispositivo, entre los principales elementos se mencionan:

- PCI
- PCI express
- USB
- PCMCIA
- Ethernet
- Wireless Ethernet
- PXI, PXI express
- Firewire

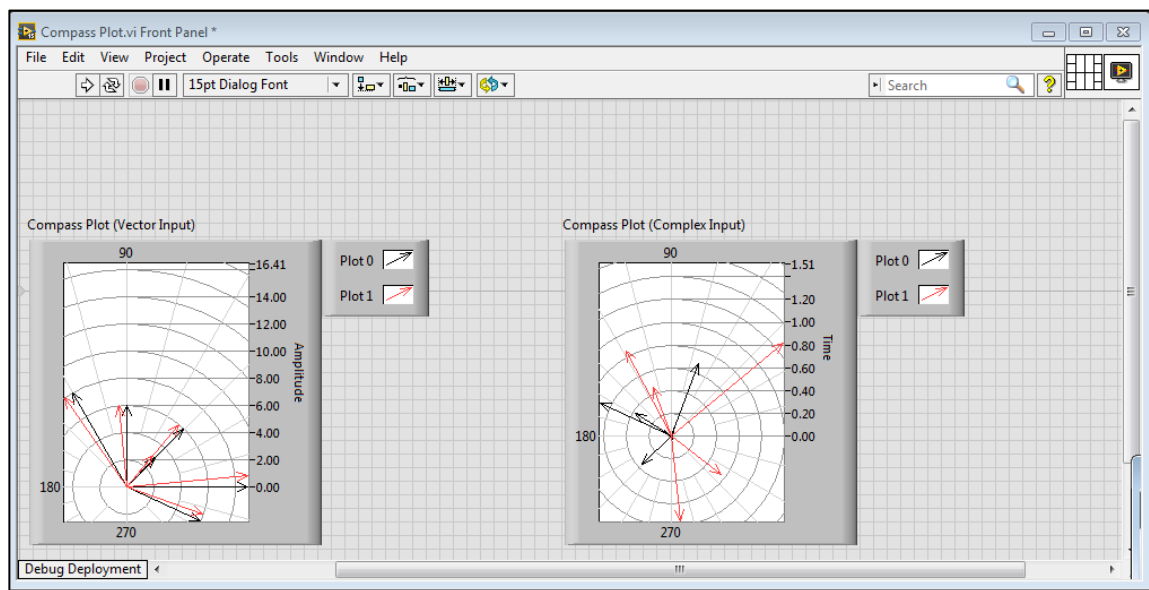
Depende de las necesidades del sistema algunos de los sistemas de adquisición de datos sirven para mejorar la velocidad, otros están diseñados para satisfacer las demandas de la industria y otros para la facilidad del uso, se pueden instalar varios sistemas de adquisición de datos en conjunto y cada dispositivo le es asignado un número de dispositivo único.

3.7. Gráficas

Cuando se utiliza LabVIEW es importante utilizar los gráficos que este genera, las opciones de gráficos y diagramas de datos son solo alguno de los más comunes que se pueden utilizar, una de las ventajas que se presentan es

que las gráficas se pueden estar actualizando continuamente, dichas gráficas están disponibles en la paleta de controles, en la figura 25 se observa ejemplo del tipo de gráficas que se pueden utilizar, tales como gráficas de fasoriales.

Figura 25. Diagramas fasoriales

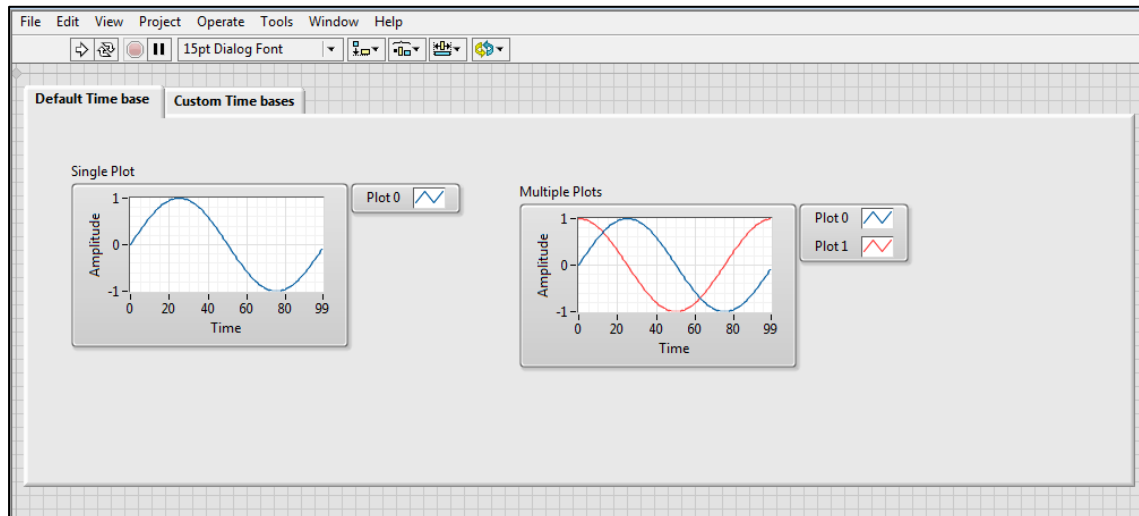


Fuente: elaboración propia, empleando software LabVIEW.

3.7.1. Gráficas utilizando formas ondas

La utilización de gráficas utilizando formas de onda es un indicador básico de gráficos de LabVIEW para la adquisición de datos, en su denominación más fundamental la carta de forma de onda recibe los datos un punto a la vez y muestra los valores de los datos en un gráfico, a esto se le denomina trazado de punto a punto, la gráficas se encuentran en la paleta de controles, gráficas de forma de onda, en la figura 25 se observa un ejemplo de las distintas gráficas que se pueden utilizar con formas de onda.

Figura 26. Diagramas de forma de onda



Fuente: elaboración propia, empleando software LabVIEW.

4. DISEÑO DE INTERFAZ DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

En este capítulo se trata la forma de las etapas del diseño y elaboración de un sistema de control de temperatura y humedad utilizando el software de diseño LabVIEW de igual manera se presentan los diagramas de los Vis que se utilizan en el proceso, el sensor utilizado y la plantilla propuesta para la visualización del monitoreo de temperatura y humedad.

4.1. Antecedentes

En la actualidad para las empresas distribuidoras de energía eléctrica, y que poseen un laboratorio para la calibración de los medidores de energía eléctrica que instalan en sus clientes, es de vital importancia determinar que los medidores que poseen cumplan con las características técnicas tanto de exactitud como de precisión las cuales son características muy importantes para el cobro correcto del consumo de energía eléctrica.

Estos laboratorios por muy sencillos que parezcan tienen en su inventario equipos para la calibración de los medidores, tales como patrones primarios, patrones secundarios o patrones viajeros, en el mejor de los casos estos equipos son calibrados por patrones propios, sin embargo, en la mayoría de los casos son otras empresas quienes realizan la calibración de estos, y para el correcto funcionamiento hay dos variables que son de suma importancia; la temperatura y la humedad.

De tal forma, las mediciones que se pueden realizar en los laboratorios toman una importancia muy relevante al momento de realizar una calibración de los medidores, las variables de temperatura y humedad tienen que estar controladas y en el mejor de los casos, estas variables tienen que tener algún registro y almacenamiento histórico, porque los medidores, patrones y equipos de calibración son de un alto costo, es por eso que surge la necesidad de contar con un sistema de monitoreo y control que sea capaz de censar las variables de forma correcta y adicional que pueda ser capaz de almacenar datos históricos, ya estos sistemas agregan valor a los procesos y certificaciones que los laboratorios puedan tener.

4.2. Generalidades

El sistema de control para el diseño de la interfaz en LabVIEW para el monitoreo de temperatura y humedad en un laboratorio de metrología para una empresa de distribución es auxiliado por el sensor Humicap 180R, este adquiere los datos, los procesa y a través de los módulos de LabVIEW los muestra con la programación de paneles y paletas de controles muestra los valores, modifica los setpoints deseados para el correcto funcionamiento, adicional con la funcionalidad de almacenamiento de datos ayuda al proceso a guardar la información deseada para el proceso de auditorías tanto internas como externas.

4.2.1. Protocolo de comunicación *Modbus*

El protocolo de comunicación *Modbus* se encuentra en el nivel siete del modelo OSI, es un protocolo de comunicación abierto y goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos eléctricos y electrónicos industriales, se basa en la arquitectura Maestro/Esclavo o Cliente/Servidor.

Modbus permite el control de una red de dispositivos y comunicar los resultados a un ordenador, los datos disponibles por medio de *Modbus* son almacenados en general, en uno de los cuatro bancos de datos o rangos de dirección.

- Bobinas
- Entradas discretas
- Registros de retención
- Registros de entrada

Los dispositivos esclavos tienen acceso directo a estos datos los cuales son alojados localmente en los dispositivos, los datos disponibles por medio del *Modbus* generalmente son un subconjunto de la memoria principal del dispositivo.

Tabla III. **Comportamientos de bloque del protocolo *Modbus***

Bloque de memoria	Tipo de datos	Acceso del maestro	Acceso de esclavo
Bobinas	Booleano	Lectura/escritura	Lectura/escritura
Entradas discretas	Booleano	Solo lectura	Lectura/escritura
Registros de retención	Palabra sin signo	Lectura/escritura	Lectura/escritura
Registros de entrada	Palabra sin Signo	Solo lectura	Lectura/escritura

Fuente: elaboración propia.

Estos bloques le brindan la habilidad de restringir o permitir el acceso a los diferentes elementos de datos y también de proporcionar diferentes mecanismos simplificados en la capa de aplicación para tener acceso a diferentes tipos de datos.

4.2.2. Protocolos de comunicación Ethernet

El Ethernet es un conjunto de redes de área local para computadoras con acceso al medio por detección de onda portadora y con detección de colisiones, el protocolo Ethernet, las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos de nivel de enlace de datos del modelo OSI, el estándar internacional IEEE 802.3 se tomó de la base del Ethernet.

La trama se le denomina *frame* y en el siguiente resumen se indica las principales características:

- El primer campo es el preámbulo que indica el inicio de la trama.
- El delimitador de inicio de trama indica que el *frame* empieza a partir de él.
- Los campos de MAC o dirección de destino y de origen indican las direcciones físicas del dispositivo.
- La secuencia de comprobación es un campo de 4 bytes que contiene un valor de verificación.
- El gap final de la trama de 12 bytes vacíos con el objetivo de espaciado entre tramas.

Una de las principales ventajas de protocolo Ethernet es que desde hace mucho tiempo logro situarse como el principal protocolo de enlace de datos y las tecnologías Ethernet que existen actualmente permiten diferenciar los

conceptos de la transmisión de datos, estos están ligados entre sí y se manifiestan por cuatro características:

- Velocidad de transmisión
- Tipo de cable
- Longitud máxima
- Topología

Adicional a estas características el protocolo Ethernet cuenta con una estructura de distintos elementos o grupos los cuales generan destinos de red los cuales se detallan a continuación:

- Tarjeta de red
 - Repetidor
 - Concentrador
 - Puente de red
 - Conmutador o *switch*
-
- Tarjeta de Red: permite que una computadora acceda a una red local, cada tarjeta tiene una única dirección MAC.
 - Repetidor: su objetivo es aumentar el alcance de una conexión física, recibiendo las señales y retransmitiéndolas, para evitar su degradación, a través del medio de transmisión, lográndose un alcance mayor.
 - Concentrador: funciona como un repetidor, pero permite la interconexión de diferentes nodos, opera en la capa física del modelo OSI.

- Puente de Red: interconecta segmentos de red haciendo el cambio de *frames* entre las redes se diseñan para uso entre las LAN que usan los protocolos idénticos en la capa física y MAC.
- Conmutador o *switch*; permite la interconexión de múltiples segmentos de red, funciona en velocidades más rápidas y es más sofisticado.

4.2.2.1. Ethernet/IP

La tecnología Ethernet/IP utiliza todos los protocolos de Ethernet tradicionales, adicional utiliza el protocolo de Control de Transmisión llamado TCP y el Protocolo de Internet IP adicional a estos utiliza las tecnologías de acceso mediático y señalización disponibles en todas las tarjetas de interfaz de red, el protocolo Ethernet/IP al basarse en los estándares garantiza un funcionamiento correcto conectado con los distintos dispositivos.

Ethernet/IP es un protocolo de red orientado para aplicaciones de automatización industrial y utiliza tanto el hardware como el software de Ethernet para establecer un nivel de protocolo para configurar, acceder y controlar dispositivos de automatización industrial.

4.3. Control de temperatura

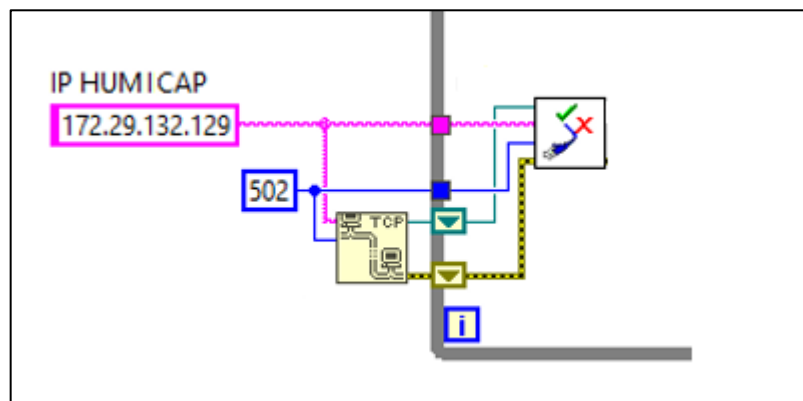
La variable de temperatura se obtiene de los registros que el sensor de temperatura está midiendo constantemente, el método para poder mostrar los datos a través del VI de visualización es poder comunicarse por medio de la IP de los puertos TCP/IP asignada al sensor, después de esto se trabajará con el bloque de reconexión hay que asegurarse que no se pierda la comunicación

con el sensor y si existiera alguna falla de comunicación este bloque intentara nuevamente realizar la conexión sin perder tiempo en correr todo el VI, al tener la conexión segura las conexiones del *modbus* y las variables tanto de ID, la dirección de los registros y la cantidad de registros que se leen se podrán mostrar en la visualización de los datos y realizar los *set points* deseados.

4.3.1. Obtención de la variable de temperatura en LabVIEW y aplicativo

Para la visualización del VI de control de temperatura se creará un ciclo *while* en el diagrama de bloques, se obtendrá la IP designada al sensor Humicap 180R, en este caso se asignó la IP 172.29.132.129 el sensor maneja el protocolo *modbus*, esto indica que en esta sección del código se abren los puertos TCP/IP y el puerto asignado es el 502, puerto que se usa por defecto en *modbus* en la figura 27. se puede observar adicional a la obtención de la información del puerto una sección en el diagrama de bloques la reconexión que actúa cuando se pierda la comunicación con los sensores.

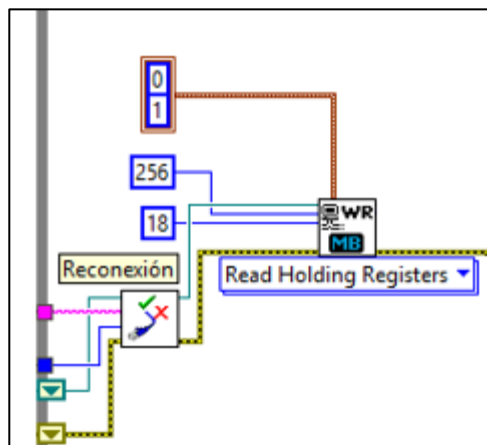
Figura 27. Obtención de datos IP sensor



Fuente: elaboración propia, empleando software LabView.

Cuando se establece la comunicación sin problemas los registros que se leen por medio de *modbus* a través de la función *Holding Registers* que es programado por defecto y únicamente se le configura el ID del dispositivo con un 1, adicional se le indica en qué dirección se va a iniciar la lectura de los registros, en este caso es 256, y la cantidad de registros que se van a obtener 18, en la figura 28, se observa cómo es la configuración del módulo de reconexión con el Holding Registers.

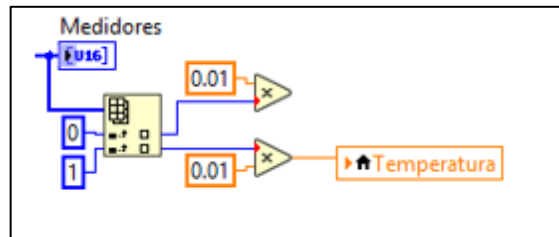
Figura 28. **Función Holding Registers**



Fuente: elaboración propia, empleando software LabView.

Los resultados de los datos obtenidos generan un array de enteros en los cuales únicamente seleccionamos los registros de los datos obtenidos de temperatura con la función *Index Array* según el manual del sensor Humicap 180 R se especifica que los valores obtenidos se tienen que multiplicar por la constante 0,01 para obtener la lectura real de temperatura.

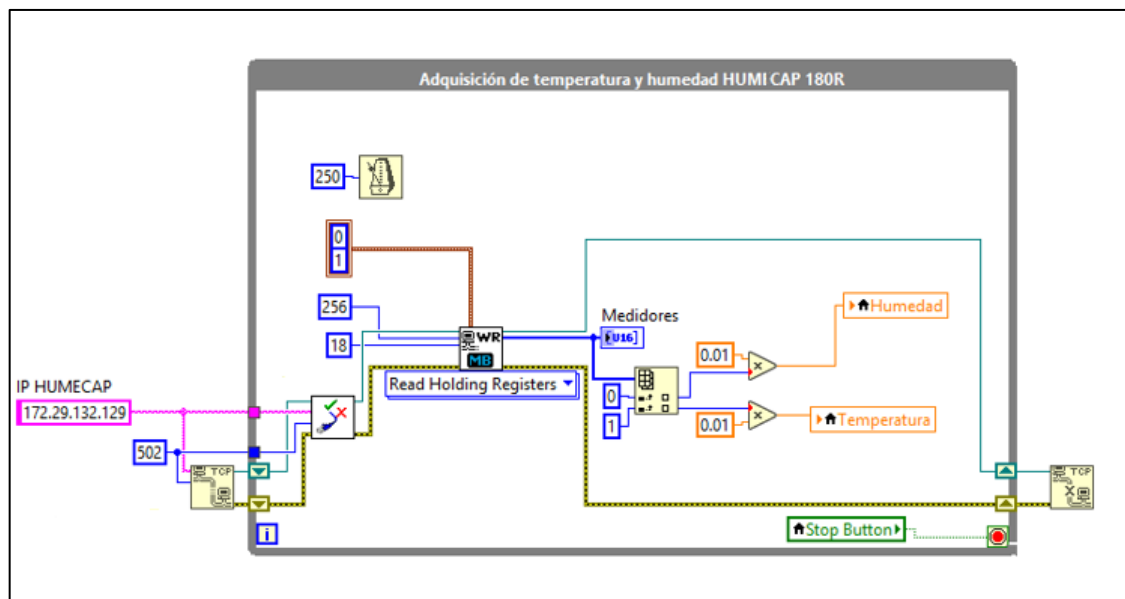
Figura 29. Multiplicación de registros



Fuente: elaboración propia, empleando software LabView.

En resumen, con la conexión del sensor por los puertos *modbus* TCP/IP en conjunto con el bloque de reconexión y la lectura de los registros deseados con el Holding Registers se obtienen los datos de temperatura, en la figura 30 se visualiza el proceso completo.

Figura 30. Control de la variable de temperatura

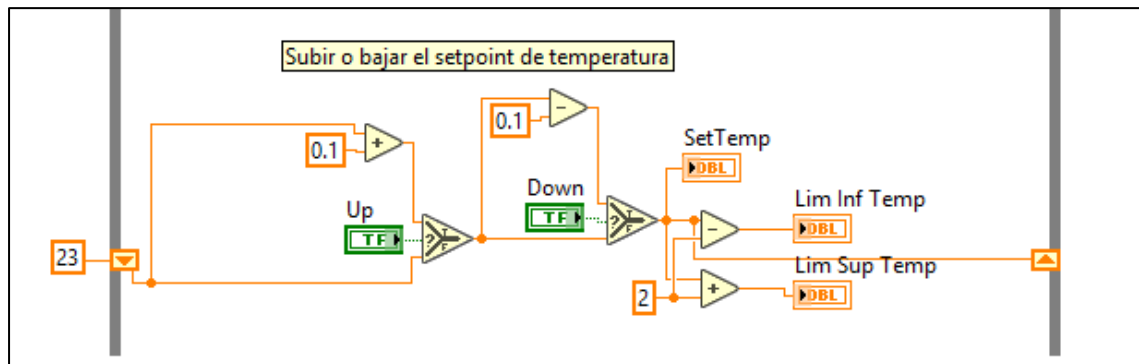


Fuente: elaboración propia, empleando software LabView.

4.3.2. Control de la variable de temperatura a través del Set Point

Para la modificación del Set Point en el VI de control se observa en la figura 30, se tienen dos teclas las cuales estarán representadas en el VI de visualización como *UP* y *DOWN*, una es para aumentar el Set Point y otra es para disminuirlo, para esto se colocó una resolución de 0.1 grados para que la escala no varíe desproporcionadamente, al presionar cualquiera de las teclas el valor ira cambiando, este dato lo ira actualizando con un *Shif Register* se trasladara el valor pasado para ser actualizado al presionar cualquiera de las teclas.

Figura 31. Control de la variable de temperatura a través del Set Point



Fuente: elaboración propia, empleando software LabView.

4.4. Control humedad

Al igual que la variable de temperatura, la variable de humedad se obtiene de los registros que el sensor está leyendo, el método para poder mostrar los datos a través del VI de visualización es poder comunicarse por medio de la IP

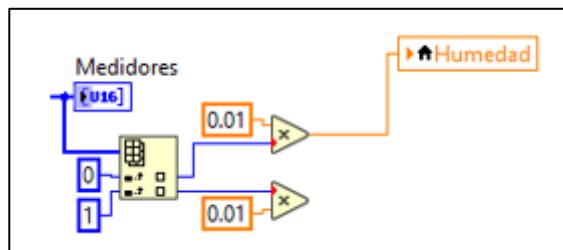
de los puertos TCP/IP del sensor, después de esto se trabajará con el bloque de reconexión asegurando que no se pierda la comunicación con el sensor y si existiera alguna falla de comunicación este bloque intentara nuevamente realizar la conexión de forma muy similar como se trabajó con la variable de temperatura.

4.4.1. Control de la variable de humedad en LabVIEW y aplicativo

El proceso para la visualización del VI de control de humedad es muy similar al utilizado con la temperatura, en un ciclo *while* en el diagrama de bloques, se designará la IP al sensor 172.29.132.129 este maneja protocolo *modbus*, esto indica que en esta sección del código se abren los puertos TCP/IP y el puerto asignado es el 502, puerto que se usa por defecto en *modbus* en la figura 26. se puede observar la obtención de la información del puerto, esta es una sección en el diagrama de bloques en donde se realiza la reconexión cuando se pierda la comunicación.

Nuevamente cuando se establece la comunicación con los registros que se leen por medio de *modbus* a través de la función *Holding Registers* se le configura el ID del dispositivo con un 1, adicional se le indica en qué dirección se va a iniciar la lectura de los registros, en este caso es 256, y la cantidad de registros que se van a obtener esta es la reconexión en caso exista pérdida de comunicación.

Figura 32. **Multiplicador de registros**



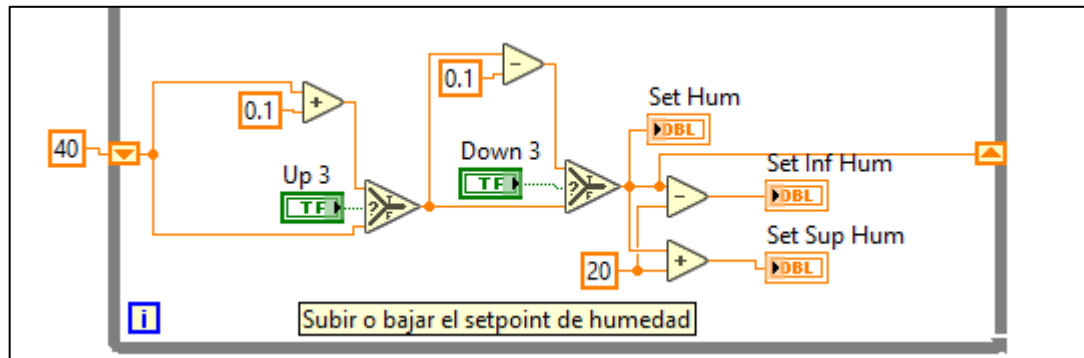
Fuente: elaboración propia, empleando software LabView.

La conexión del sensor de humedad a través de los puertos *modbus* TCP/IP en conjunto con el bloque de reconexión y la lectura de los registros deseados con el Holding Registers se obtienen los datos de temperatura, en la figura 32 se visualiza el proceso de multiplicación de registros.

4.4.2. **Control de la variable de humedad con el Set Point**

En el VI de control tienen dos teclas estas son para modificación del Set Point las cuales estarán representadas en el VI de visualización como *UP* y *DOWN*, una es para aumentar el Set Point de humedad y otra es para disminuirlo, se colocó una resolución de 0.1 grados para que la escala no varíe desproporcionadamente, al presionar cualquiera de las teclas el valor ira cambiando, este dato lo ira actualizando con un *Shif Register* se trasladara el valor pasado para ser actualizado al presionar cualquiera de las teclas, en la figura 33 se observa el proceso completo.

Figura 33. **Control de la variable de humedad a través del Set Point**



Fuente: elaboración propia, empleando software LabView.

4.5. Dispositivos de hardware

La principal característica para seleccionar los dispositivos que estarán midiendo la temperatura y la humedad está en las opciones de comunicación, la facilidad de medición y la precisión de los instrumentos, tomando en cuenta lo anterior descrito se presenta la mejor opción para la medición de temperatura y humedad.

4.5.1. Sensor de temperatura y humedad

Como base en las características más apropiadas para medición de temperatura y humedad se tomó en cuenta el set point de temperatura y el área a tomar la medición se determinó que la opción que presenta el sensor de Vaisala Humicap de la serie 300 y constituye varias características que lo hacen un sensor muy funcional porque posee cualidades que son muy específicas a través de protocolos de comunicación como lo son RS-232 o RS-422/485, sumado a esto se determina que las mediciones tanto de temperatura como de humedad que el sensor presenta según las necesidades que se tienen cumple

a cabalidad con lo requerido, en la tabla número 3 se muestra las características.

Tabla IV. **Cantidades medidas por el HMT330**

Cantidad	Abreviatura	Unidad Metrica	Unidad no Metrica
Humedad Relativa (RH)	RH	%RH	%RH
Temperatura (T)	T	°C	°F

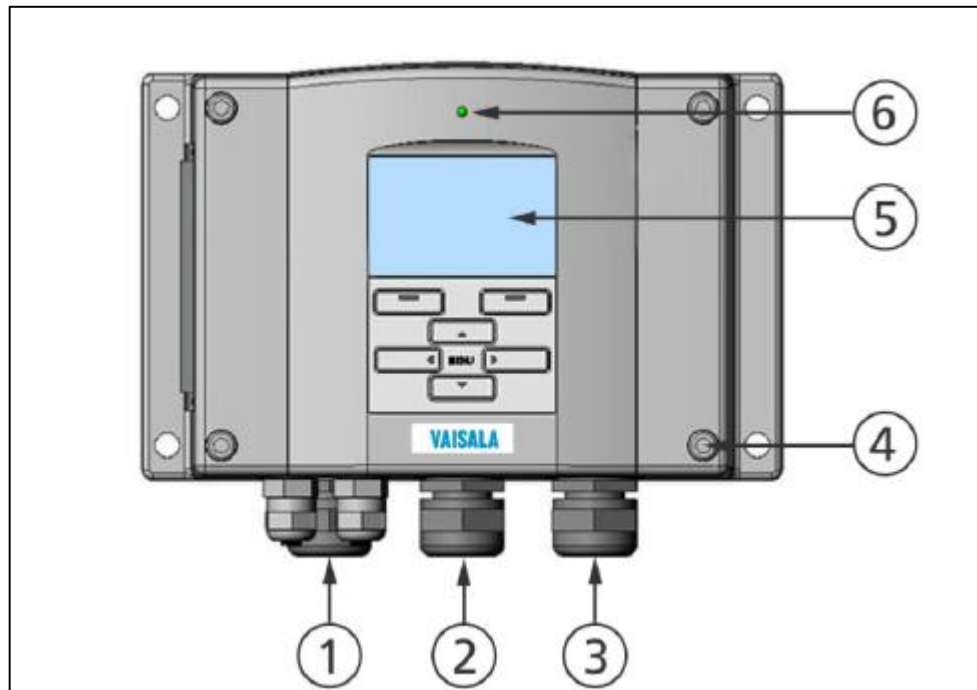
Fuente: elaboración propia.

La estructura física del sensor y el montaje que tiene se muestra en la figura 34 en donde:

- Señal de alimentación
- Prensaestopas para modulo opcional o antena WLAN
- Cable principal de AC
- Tornillo de cubierta
- Display
- Cubierta led

Adicional a las características básicas de conexión el sensor Humicap también posee opciones para aumentar el número de sondas o ya que puede variar dependiendo de las necesidades de dimensionamiento de la medición.

Figura 34. **Estructura física del sensor**

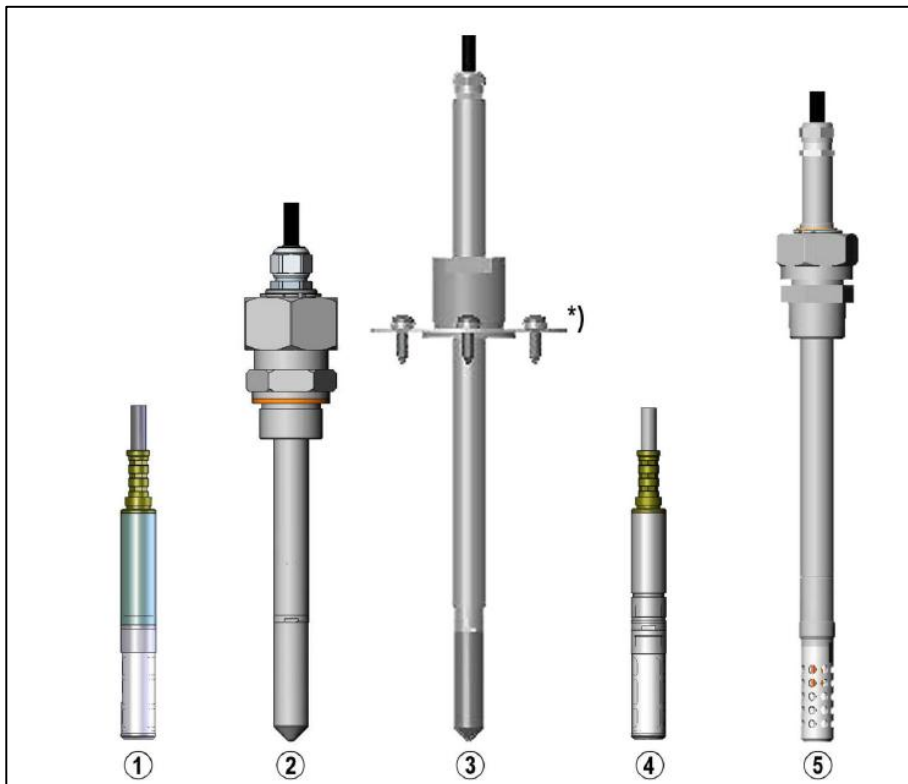


Fuente: HMT330 Users. *Guide vaisala humicap*. p. 21.

En la figura 34 se observa las distintas opciones que se tienen para sondas que el sensor puede soportar, las cuales se describen a continuación.

- Sonda para conductos y espacios reducidos
- Sonda para aplicaciones de alta presión y vacío
- Sonda para altas temperaturas
- Sonda para aplicaciones de alta humedad
- Sondass para tuberías presurizadas

Figura 35. **Sondas de prueba**



Fuente: HMT330 Users. *Guide vaisala humicap*. p. 24.

4.5.1.1. Sensor de temperatura

La medición de la temperatura es una de las mediciones más comunes que se realizan a niveles físicos, depende en gran forma de los lugares específicos a medir la variable de temperatura y los entornos que se deseen o necesiten medir para determinar cuál método es el más efectivo, adicional se suma la precisión deseada, el rango a medir y sin dejar fuera los costos que estos implican, tomando en cuenta todos estos aspectos es como se determina la forma correcta de la medición, para el caso de la medición de la variable de temperatura para laboratorios de metrología eléctrica de una empresa de

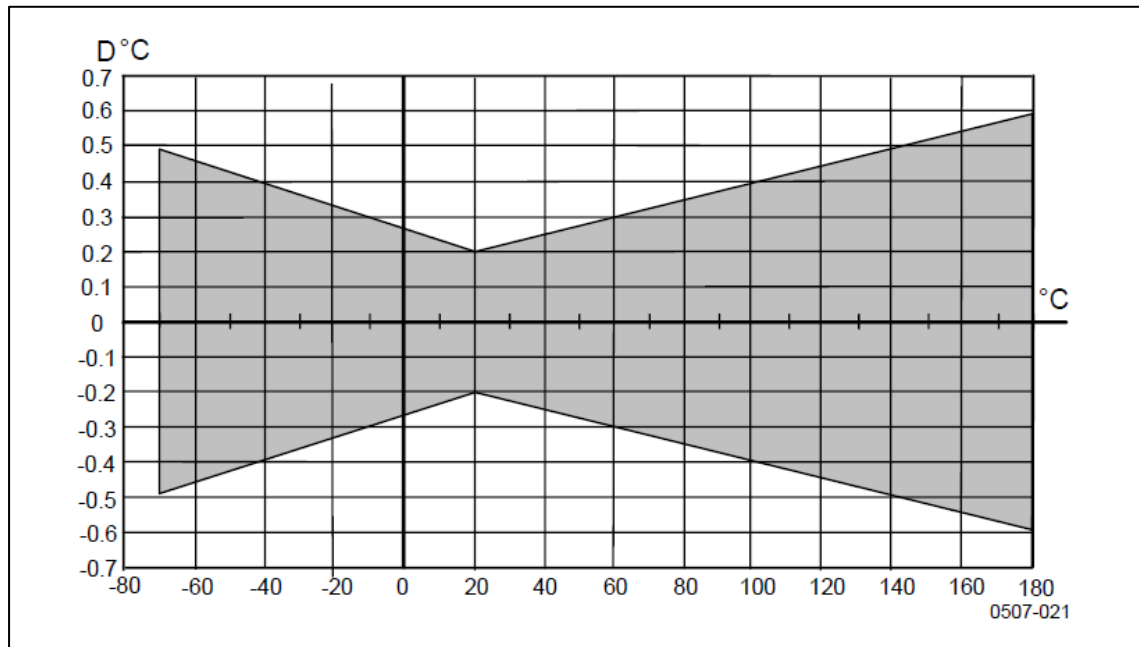
distribución de energía eléctrica, es necesario poder listar y ordenar los aspectos mencionados, para ello se tomara de referencia los sensores que se tienen y el sensor Humicap de Vaisala es la opción que se utilizara, todos los datos técnicos y de conexión se detallaran en los capítulos siguientes.

Las características técnicas del sensor de temperatura se pueden detallar de la siguiente manera.

Medición de temperatura	
Rango	-70... + 180 °C (-94... + 356 °F)
Precisión típica	0.2 °C
Sensor	Pt100 PRT DIN IEC 751 Clase 1/4B
Longitud del cable	2 metros, 5 metros y 10 metros
Presión	hasta 7 bar
Material de la sonda	acero inoxidable

En la figura número 35 se observa cómo se comporta la precisión del sensor según la medición de temperatura que se realice, cerca de los 20 °C el sensor posee una mejor precisión ya que su valor es muy cercano a 0,2 sin embargo si la temperatura se ve muy cercana a los -70 °C la precisión llega a 0,45 de igual forma si la temperatura se eleva a los 180 °C la precisión se ve afectada y puede llegar hasta 0,6, es por eso que es muy importante que la medida de temperatura se pueda llegar a un *set point* cercano a 20 °C. observando la figura 36 se determina fácilmente cual será la precisión del sensor dependiendo de la variación de la temperatura.

Figura 36. **Precisión sobre el rango de temperatura**



Fuente: HMT330 Users. *Guide vaisala humicap*. p. 170.

4.5.1.2. **Conexión RTD**

Las RTD son dispositivos de medida pasivo, por lo tanto, se debe aplicar una corriente de excitación y luego tomar las lecturas de voltaje en sus terminales y por medio de un algoritmo se transforma la lectura a temperatura. Las mediciones de temperatura se realizan con un RTD y generalmente estos vienen con varias combinaciones de colores rojo y negro o rojo y blanco, los cables negros o blancos son los de tierra y los cables rojos son los de excitación, para estar seguro de las conexiones físicas del RTD existe un método muy simple para determinar la correcta conexión, con un multímetro se mide la resistencia entre las terminales teniendo dos opciones de la medición, si la resistencia tiene un valor cercano a 0Ω de resistencia entonces las

terminales están al mismo nodo, si la resistencia está cerca de la resistencia nominal que en este caso son 100 Ω se supone que es una resistencia nominal común de RTD. Para evitar el auto calentamiento, que es provocado por el flujo de corriente se debe disminuir la corriente de excitación lo más posible.

4.5.1.3. Sensor de humedad

La medición de la variable de humedad se realizó a través del sensor de humedad Humicap 180R de Vaisala las conexiones se realizaron con salidas analógicas que se podrán escoger entre señales de voltaje o señales de corriente, alternativamente las salidas analógicas podrán ser con RS-232 o RS-422/485 las cuales se seleccionaran de forma opcional, la medición de humedad tiene el rango de 0 % a 100 % de la humedad relativa. Así como la medición de temperatura toma relevancia la ubicación de la medición lo es igual que en la medición de humedad, el entorno que se medirá y el método más efectivo para hacerlo, la precisión que se desea, el rango a medir y los costos del sensor, los datos técnicos para la medición de humedad son los siguientes:

Medición de humedad	
Rango de 15.... 25 °C	± 1 %RH (0 90% RH)
Factor de calibración de incertidumbre a 20°C	± 0.6 %RH (0 ...40% RH)
Tiempo de respuesta	8 s con filtro

Tanto para el sensor de temperatura como el sensor de humedad del Humicap los ajustes de calibración se realizan cada año, dependiendo de las aplicaciones y la utilización de estos, si se utiliza para una aplicación industrial muy avanzada entonces es necesario realizar la calibración más frecuentemente.

4.5.1.4. Humicap 180R de Vaisala HMT330

El sensor de humedad necesita una sólida conexión a tierra física, ya que la descarga electrostática puede causar un daño inmediato a los circuitos del sensor, estas descargas inclusive pueden ser provocadas con el hecho de tocar el sensor con las manos, ya sea que se esté removiendo o insertando cualquier objeto propio del sensor, cuando se instaló el sensor se tomó en cuenta que en la pantalla del sensor indicara que la operación fuera normal, este tiempo pude variar hasta pasados los 18 segundos, la presión tuvo un efecto sobre los cálculos de la presión de la humedad, por lo tanto los cálculos pueden lograrse únicamente cuando se tornó la presión del ambiente a su estado normal.

El sensor muestra información en su display tanto para las mediciones de temperatura, así como las de humedad, en la figura 37 muestra un ejemplo de las variables, también muestra una gráfica histórica de las variables seleccionadas.

Figura 37. Ejemplo de display del sensor de humedad



Fuente: HMT330 Users. *Guide vaisala humicap*. p. 67.

La gráfica seleccionada muestro una curva de tendencia de los valores promedios, y para cada variable calcula el promedio durante el periodo

seleccionado. El tiempo que mostró el sensor se ajusta con el desplazamiento del transmisor del tiempo actual, si se cambia la configuración de fecha y hora también afecta a la hora del sensor y el desplazamiento del display y la gráfica cambia en consecuencia.

4.5.1.5. Consideraciones de ruido

Las consideraciones que se deben tomar en torno a las señales de salidas del RTD es el ruido, las entradas del RTD se les debe administrar una corriente de excitación, estos leen el voltaje en sus terminales, si el calor que se genera no se puede disipar, el calentamiento que se genera por efecto Joule por la corriente de excitación incrementa la temperatura del elemento de detección, al realizarse el calentamiento este cambia la resistencia del RTD provocando errores en la salida, para minimizar estos efectos es necesario administrar una corriente menor de excitación, y para esto es importante los filtros que se puedan utilizar, estos filtros son empleados en los sistemas DAQ en los RTD para eliminar de una forma muy efectiva el ruido de alta frecuencia, pudiendo mencionar como ejemplo los filtros pasa bajo para eliminar ruido de líneas eléctricas de 60 Hz que se presenta comúnmente en los laboratorios o plantas.

4.6. Creación VI de visualización

La conexión entre los VI de control tanto de la variable de humedad como la variable de temperatura y la visualización que se presenta ante las personas que operan el sistema son muy necesarios las interfaces de conexión entre ellas, sin esta conexión no tendría sentido construir los VÍ's ya que no se podrían interpretar de forma sencilla y amigable ante el operador, de igual forma, si solo se tuviera la visualización sin los VÍ's no se podrían realizar las acciones solicitadas, las visualizaciones que se requieren o las acciones que se

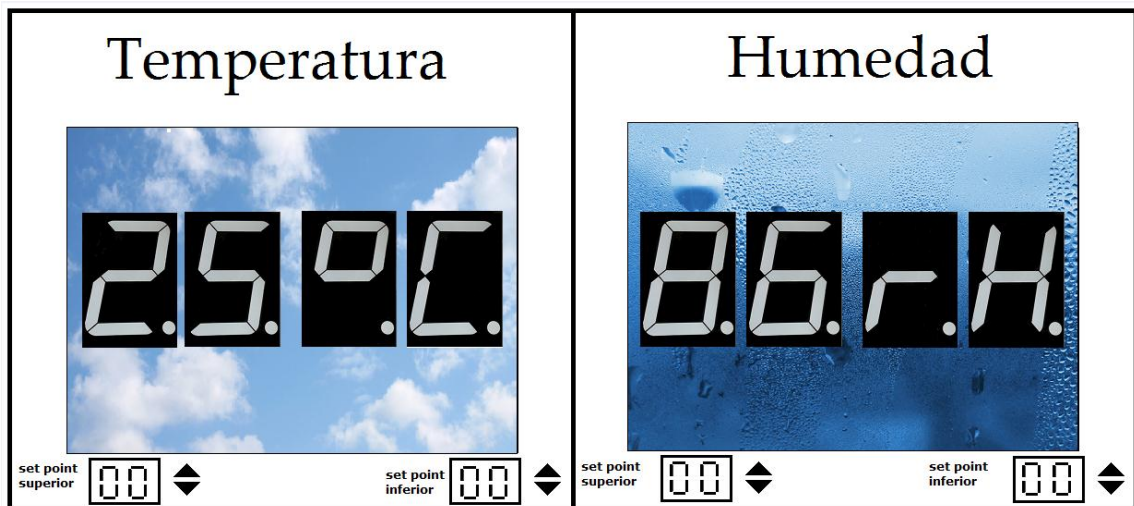
toman, a continuación se presenta el modelo de visualización que es la interfaz que estará utilizando el usuario final, se presenta de una forma muy sencilla en la cual se observan en números grandes los datos de temperatura y humedad abajo de ellos se muestran los setpoint.

4.6.1. Modelo de visualización

Para la presentación se creó un modelo de visualización que une los Vis creados tanto para el control y monitoreo, el modelo de visualización se realizó de una forma simple que incluye las dos variables a medir, tanto la temperatura como la humedad, del lado derecho se encuentra el control y monitoreo de la variable de la humedad, en la parte inferior se creó el control de los dos set point, el superior y el inferior, en estos se pueden modificar las condiciones de humedad que se desee colocar en sus valores máximos y mínimos, la pantalla central muestra el display en donde indica el valor de lectura que está obteniendo el sensor de humedad.

Del lado izquierdo se encuentra el control y monitoreo de la variable de temperatura, en la parte inferior se creó el control de los dos set point tanto el valor superior como el valor inferior, el valor que el sensor está indicando se encuentra en la parte central junto con su unidad métrica grados centígrados en la figura 38 se observa cómo está distribuido el VI de visualización.

Figura 38. **VI de visualización sensor de temperatura y humedad**



Fuente: elaboración propia, empleando software LabView.

La parte inferior de cada pantalla de visualización contiene un icono en el se puede modificar los set points deseados para cada variable, estos set point se modificaron según sea la necesidad de los históricos a guardar y

Figura 39. **Set point variables de temperatura y humedad**



Fuente: elaboración propia, empleando software LabView.

4.6.2. **Conexión con displays**

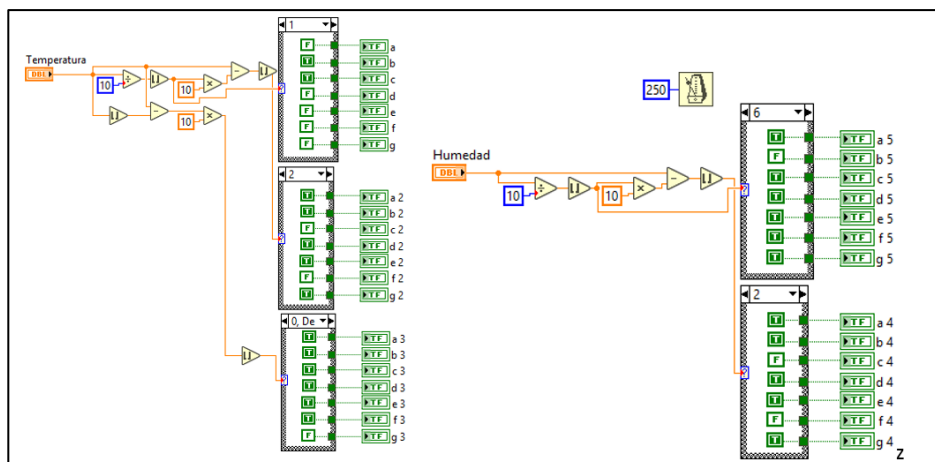
La forma de con la que se realizó la conexión con los displays de 7 segmentos es fundamental para mostrar al usuario la interfaz que muestran los

valores que los sensores están detectando, para esto fue necesario separar los números según su necesidad, para el caso del sensor de temperatura se tienen tres display uno para la decena, otro para la unidad y el tercero para el decimal, sin embargo para el display de la Humedad únicamente se tienen dos displays de siete segmentos, uno para la decena y otro para la unidad.

Para ambos casos se divide el número que se extrajo de los sensores de temperatura y humedad en sus componentes de decimal, unidad y decimas para poder representarlos en el display, los displays están representados con estructuras de casos en los cuales los números de 0 a 9 están representados y activan cada segmento dependiendo del número a mostrar.

En la figura 40 se observa las dos conexiones de los displays de 7 segmentos, se divide o se multiplica el registro obtenido por un valor de 10 dependiendo del caso para mostrar el valor como entero y colocarlo en su casilla correspondiente de decimal, unidad o decena.

Figura 40. **Conexión con display de 7 segmentos**



Fuente: elaboración propia, empleando software LabView.

5. ALMACENAMIENTO DE DATOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA HISTÓRICOS Y AUDITORÍAS

El presente capítulo describe el almacenamiento histórico de las variables de temperatura y humedad, que serán parte fundamental para las auditorías necesarias, de esto se puede tomar en cuenta que será necesario establecer las bases para de la normativa vigente ISO/IEC 17025, los requisitos técnicos para la instalación de los sensores, también una parte importante son los instalaciones y condiciones ambientales sin dejar de mencionar los métodos de ensayo y calibración y la trazabilidad de las mediciones.

5.1. Introducción a la norma ISO/IEC 17025

La norma ISO/IEC 17025 es la normativa utilizada para los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración, la primera edición de la normativa fue en el año 1999 producto de la amplia experiencia que se adquirió en la implementación de la guía ISO/IEC 25 y de la normativa EN 45001 que posteriormente remplazo, y esta norma contiene todos los elementos y requisitos que se tienen que cumplir en los laboratorios de ensayo y calibración si desean demostrar que poseen un sistema de gestión, que son técnicamente competentes y son capaces de generar resultados técnicamente válidos.

Debido a la creciente utilización de los sistemas de gestión que han producido un aumento de la necesidad de asegurar que los laboratorios que forman parte de las organizaciones mayores y que ofrecen otros servicios puedan funcionar acuerdo al sistema de gestión de la calidad que cumple la

normativa ISO/IEC 17025, un aspecto importante y que vale mencionar es que la utilización de esta norma internacional facilitara la cooperación entre los laboratorios y otros organismos y ayudara al intercambio de información y experiencia de acuerdo a los procedimientos de la normativa.

La aceptación de los resultados obtenidos por los ensayos y las calibraciones entre países debería de resultar mucho más fácil si los laboratorios acreditados cumplen con la normativa internacional, al obtener la acreditación de organismos que han firmado acuerdos de reconocimiento mutuo.

5.1.1. Objetivos de la norma

Aunque la normativa es extensa y los objetivos de esta son muy explícitos a continuación se presentó un resumen de esta y con extractos directos de la misma.

Los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración son:

- Esta norma internacional establece los requisitos generales para la competencia en la realización de ensayos o de calibraciones, incluido el muestreo. Cubre los ensayos y las calibraciones que se realizan utilizando métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el propio laboratorio.
- Esta norma internacional es aplicable a todas las organizaciones que realizan ensayos o calibraciones. Estas pueden ser, por ejemplo, los laboratorios de primera, de segunda y tercera parte, y los laboratorios en

los que los ensayos o las calibraciones forman parte de la inspección y la certificación de productos.

- Esta norma internacional es para que la utilicen los laboratorios cuando desarrollan los sistemas de gestión para sus actividades de la calidad, administrativas y técnicas. También puede ser utilizada por los clientes del laboratorio, las autoridades reglamentarias y los organismos de acreditación cuando confirman o reconocen la competencia de los laboratorios, esta norma internacional no está destinada a ser utilizada como la base para la certificación de los laboratorios.
- Si los laboratorios de ensayos y de calibraciones cumplen los requisitos de esta norma internacional, actuarán bajo un sistema de gestión de la calidad para sus actividades de ensayo y de calibración que también cumplirá los principios de la Norma ISO 9001. El anexo A proporciona referencias nominales cruzadas entre esta norma internacional cubre requisitos para la competencia técnica que no está cubiertos por la Norma ISO 9001.

5.1.2. Referencias normativas

La normativa ISO/IEC 17025 es clara en cuanto a las referencias normativas a las cuales se apega, aunque hace una mención a la norma ISO 9001:1994 e ISO 9002:1994 precursoras de la normativa ISO 9001:200 y contiene todos los requisitos que tienen que cumplir los laboratorios de ensayo y de calibración, tomando en cuenta que el hecho de cumplir con la normativa internacional ISO/IEC 17025 no constituye por sí sola una prueba de competencia del laboratorio para producir datos y resultados técnicamente válidos.

Todas las documentaciones de referencia siguientes son indispensables para la aplicación de la normativa ISO/IEC 17025 a continuación se hace un listado de las normativas de referencia.

- ISO/IEC 17000 Evaluación de la conformidad
- ISO 9000:2000 Sistemas de gestión de la calidad
- ISO 5725-1 a la 6 Exactitud de los resultados y métodos de medición
- ISO/IEC 90003 Ingeniería de software

Esta son las principales referencias normativas para la aplicación de la norma ISO/IEC 17025.

5.1.3. Requisitos técnicos

Los requisitos técnicos para el cumplimiento de la normativa es parte esencial para correcta gestión de la calidad y son muchos los factores que determinaran la exactitud y la confiabilidad de los ensayos o de las calibraciones realizados por el laboratorio, los cuales se resumen de la siguiente forma:

- Factores humanos
- Instalaciones ambientales
- Métodos de ensayo y calibración
- Equipos utilizados
- Trazabilidad de las mediciones

5.1.3.1. Factores humanos

Una de las principales tareas en un laboratorio de calibración es el de asegurar la competencia de todo el personal que opera los equipos para realizar los ensayos, porque ellos son las personas encargadas en evaluar los resultados y firmar los reportes de ensayos calibrados adicional a los certificados de calibración. El personal encargado de estas tareas debe estar calificado con una sólida experiencia y un título académico que lo respalde, debe poseer un conocimiento de las normativas vigentes.

Es importante actualizar los perfiles de todos los puestos de trabajo tanto del personal directivo como del personal operativo porque son clave en los ensayos o las calibraciones.

5.1.3.2. Instalaciones y condiciones ambientales

Para poder mantener las mejores características de las calibraciones y ensayos es necesario contar con condiciones ambientales requeridas, la iluminación, las fuentes de energía y las condiciones ambientales son críticas para los procesos, su función principal es la de facilitar la correcta realización de los ensayos o calibraciones y que no invaliden los resultados ni comprometan la calidad requerida de las mediciones, se deben tomar en cuenta en cuanto al muestreo en sitios distintos lugares de la instalación del departamento cumplan con las características necesarias.

En el apartado 5.3.2 de la normativa ISO/IEC 17025 indica que los laboratorios de ensayo y calibración deben controlar y registrar las condiciones ambientales según lo requieran las especificaciones, métodos y procedimientos

correspondientes. Entre las variables están tanto la temperatura como la humedad.

5.1.3.3. Métodos de ensayo y calibración

El laboratorio debe aplicar el método apropiado y los procedimientos determinados para todos los ensayos y calibraciones dentro de su alcance. Entre estos están; muestreo, manipulación, transporte, almacenamiento y la preparación de los ítems a ensayar o a calibrar.

Se debe tener las instrucciones para el uso y el correcto funcionamiento de todo el equipamiento del laboratorio y debidamente actualizado.

Los métodos de ensayo o calibración deben ser utilizados incluidos en el muestreo y deben satisfacer las necesidades del cliente, que sean apropiados para los ensayos o calibraciones que realiza, preferentemente hay que utilizar los métodos publicados como normativas internacionales, regionales o nacionales.

Existen también algunos métodos que son desarrollados por el laboratorio para su propio uso, estos deben ser planificados y asignados a personal calificado, provisto de recursos necesarios para la correcta aplicación.

El laboratorio debe validar los métodos no normalizados, tanto los métodos que diseña o desarrolla y los métodos normalizados empleados fuera del alcance previsto, esto es con el fin de satisfacer las necesidades del tipo de aplicación o campo de aplicación dados. El laboratorio debe registrar los resultados obtenidos con el procedimiento utilizado para la validación del método para el uso previsto.

5.2. Trazabilidad de las mediciones

Todos los equipos utilizados para los ensayos o calibraciones, incluidos los equipos para mediciones auxiliares, estos incluyen las condiciones ambientales que tengan un efecto significativo en la exactitud o en la validez del resultado del ensayo, deben ser calibrados antes de ser puestos en servicio, para esto, es el mismo laboratorio encargado de realizar un programa y procedimiento para la calibración de sus propios equipos.

5.2.1. Calibración

Es muy importante que los laboratorios de calibración cuenten con un programa que les permita asegurar las calibraciones y las mediciones de sus equipos, se sean trazables al Sistema Internacional de Unidades SI y hechas por el mismo laboratorio.

La trazabilidad de los equipos de los patrones de medición la establece el propio laboratorio, esto se hace por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones o de comparaciones que los vinculen a los pertinentes patrones primario de las unidades de medida al Sistema Internacional de Unidades, o representaciones acordadas de las unidades del SI, basadas en constantes físicas fundamentales, o pueden ser patrones secundarios. Un dato importante es que los certificados de calibración emitidos por estos laboratorios deben contener los resultados de la medición, incluida la incertidumbre de la medición o una declaración sobre la conformidad con una especificación metrológica identificada.

5.2.2. Ensayos

En tal caso el laboratorio realice ensayos los requerimientos son básicamente los mismos que para una calibración, que también aplican a los equipos de medición y de ensayo con funciones de medición que utiliza, a menos que se haya establecido que la incertidumbre introducida por la calibración contribuye un poco a la incertidumbre total del resultado del ensayo. Este parámetro debe proveer la incertidumbre de la medición requerida y el laboratorio debe velar por cumplir con este requisito.

5.2.3. Patrones de referencia

Cada laboratorio debe poseer un programa y un procedimiento para la calibración de sus patrones de referencia, los patrones de referencia deben de ser calibrados por una entidad que demuestre la trazabilidad acorde al Sistema Internacional de Unidades SI, estos patrones de referencia para la medición deben ser conservados únicamente por el laboratorio y deben ser utilizados sólo para la calibración y por ningún motivo deben ser utilizados para otro propósito. Todos los patrones de referencia deben ser calibrados antes y después de cualquier ajuste.

5.2.4. Muestreo

Cada laboratorio de medición debe tener un plan y procedimiento para el muestreo cuando efectúe el muestreo de sustancias, materiales o productos que luego ensayé o calibre, este plan debe estar visible y disponible en el lugar donde se realiza el muestreo. Los planes de muestreo deben estar basados en métodos estadísticos apropiados, este procedimiento debe tomar en cuenta los factores que deben ser controlados para asegurar la validez de los resultados

de ensayo y calibración. Los métodos y procedimientos para registrar los datos y operaciones relacionados con el muestreo que se llevan a cabo deben ser comprobables adicional de poseer diagramas u otros métodos equivalentes para identificar el lugar de muestreo según sea necesario.

5.3. Proceso de auditorías

Se comprobó que los cálculos y la transferencia de los datos deben de estar sujetos a verificaciones adecuadas, llevadas a cabo de una manera sistemática, los por el laboratorio, la comisión normalizadora podrá emitir no conformidades que pongan en duda el cumplimiento del laboratorio ya sea con sus propios procedimientos o con el cumplimiento a la normativa internacional ISO/IEC 17025, en tal caso el laboratorio deberá asegurarse de que los correspondientes sectores sean auditados y tan pronto como sea posible cumplir con las no conformidades indicadas.

El laboratorio deberá también efectuar periódicamente y de acuerdo con un calendario específico, en conjunto con el procedimiento propio, auditorías internas, estas actividades se realizarán para verificar que las operaciones del laboratorio continúan cumpliendo con los requisitos del sistema de gestión, esto incluye las actividades de ensayo y calibración. La persona encargada de la calidad de la gestión quien debe planificar y organizar las auditorias según el cronograma establecido. Si en tal caso existiera alguna no conformidad que pongan en duda la eficacia de las operaciones tanto en la exactitud de los resultados de los ensayos o de las calibraciones, es el mismo laboratorio quien deberá tomar las acciones correctivas oportunas.

5.3.1. Validación de métodos

Para el laboratorio la validación de los métodos es la confirmación a través del examen y en conjunto con el aporte de evidencias objetivas, de que en realidad se están cumpliendo con los requisitos particulares. La validez de los métodos debe ser tan amplia como sea necesario, esto es para satisfacer las necesidades del tipo de aplicación o del campo de aplicación, también se deben registrar los resultados obtenidos, el procedimiento utilizado y una declaración sobre la declaración de la aptitud del método para el uso previsto.

Se utilizan varias técnicas para la determinación del desempeño del método, mostrados a continuación.

- Calibración usando patrones de referencia
- Comparación de resultados obtenidos con otros métodos
- Comparación inter-laboratorios
- Evaluación sistemática de los factores que influyen en el resultado
- Evaluación de la incertidumbre

CONCLUSIONES

1. Las principales características de los sensores de temperatura y humedad realizados en el estudio se describen en el capítulo dos, muestran cuales son los más adecuados para la interfaz de control adecuados al sensor Vaisala Humicap 180R.
2. La simulación de modelos para sensores de temperatura y humedad utilizados en sistemas de control y los conceptos teóricos descritos en el capítulo uno, son posibles con el programa LabView.
3. Actualmente existen distintos sistemas de monitoreo de temperatura y humedad que brindan excelentes características, sin embargo la aplicación con la que se puede trabajar se adecua a cada proceso en específico.
4. Los sensores de humedad y temperatura Vaisala Humicap 180R permiten una óptima medición de los parámetros de monitoreo, teniendo como principal ventaja la conexión con interfases de interrogación y obtención de datos a través de modbus.
5. Los datos obtenidos en la interfaz de monitoreo sirvieron de apoyo para el proceso de acreditación, esto debido a que es necesario tener documentados todos los datos obtenidos en la aplicación, debido a las auditorías realizadas tanto por el ente regulados como por las auditorías internas.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta que la persona que opere el sistema de monitoreo de humedad de temperatura, debe poseer conocimientos básicos en relación con los sistemas de control.
2. Los setpoints de las variables de temperatura y humedad deben de ser acordes a lo que la normativa ISO IEC 17025 establece.
3. Para evitar lecturas erróneas los sensores de temperatura y humedad deben encontrarse libres de suciedad.
4. Si la obtención de datos a través de los sensores presenta algún problema es importante revisar las IPs asignadas porque es probable que si el sensor se reinicia, pierda esta configuración y no muestre datos en el display.
5. El diseño con el software LabView está definido para la funcionalidad de los sensores, cualquier cambio en la programación puede afectar la medición de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

1. COOPER, Williams D.; HELFRICK, Albert D. *Instrumentación electrónica moderna, y técnicas de medición*. México: Pearson Educación, 1991. 450 p.
2. CREUS, Antonio Solé. *Instrumentación industrial*. España: Boixareu Editores. 1997. 768 p.
3. DORF, Richard C.; H, Robert. *Bishop modern control systems*. EE.UU.: Person Education International, 2010. 1111 p.
4. HMT 330 USER'S. *GUIDE vaisala HUMICAP humidity and temperature transmitter series*. [en línea]. <<http://www.sainao.com/temperature-transmitters/>>. [Consulta: 19 de febrero de 2019].
5. KUO, Benjamin. *Sistemas de control automático*. México: Prentice Hall, 1996. 898 p.
6. Norma Internacional ISO/IEC 17025. *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*. [en línea]. <<http://rekner.com/norma-iso-iec-170252017-requisitos-generales-para-la-competencia-de-los-laboratorios-de-calibracion-y-ensayo-2/>>. [Consulta: 19 de febrero de 2019].

ANEXOS

Anexo 1. Código de funciones, mapa modbus

Function Code	Name	Notes
01 (0x01)	Read Coils	Class 1
02 (0x02)	Read Discrete Inputs	Class 1
03 (0x03)	Read Holding Registers	Class 0
04 (0x04)	Read Input Registers	Class 1
05 (0x05)	Write Single Coil	Class 1
06 (0x06)	Write Single Register	Class 1
07 (0x07)	Read Exception Status	Class 1
08 (0x08)	Diagnostics	
15 (0x0F)	Write Multiple Coils	Class 2
16 (0x10)	Write Multiple Registers	Class 0
22 (0x16)	Mask Write Register	Class 2
23 (0x17)	Read/Write Multiple Registers	Class 2
43 / 14 (0x2B / 0x0E)	Read Device Identification	

Fuente: DORF, Richard C.; H, Robert. *Bishop modern control systems*. p. 816.

Anexo 2. Bloque de registros modbus

Address	Data Format	Description
0001...0068	32-bit IEEE float	Measurement data (read-only)
0257...0290	16-bit signed integer	
0513...0517	Bit field	Status registers (read-only)
0769...0790	32-bit IEEE float	Configuration settings
1025...1035	16-bit signed integer	
1281...1288	Bit field	

Fuente: DORF, Richard C.; H, Robert. *Bishop modern control systems*. p. 816.

