



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

**FACTORES EN EL DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
LABORATORIO DE METROLOGÍA INDUSTRIAL EN INGENIOS AZUCAREROS**

Otto Fernando Paau Aquino

Asesorado por el Ing. José Aníbal Silva de los Ángeles

Guatemala, octubre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FACTORES EN EL DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
LABORATORIO DE METROLOGÍA INDUSTRIAL EN INGENIOS
AZUCAREROS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

OTTO FERNANDO PAAU AQUINO
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ANIBAL SILVA DE LOS ANGELES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL I	Ing. Glenda Patricia Garcia Soria
VOCAL II	Ing. Alba Maritza Spinola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Agr. Jose Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Adolfo Villena Vásquez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**FACTORES EN EL DISEÑO PARA, LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
LABORATORIO DE METROLOGIA INDUSTRIAL EN INGENIOS
AZUCAREROS,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, en julio del 2009.



Otto Fernando Paau Aquino

Guatemala 27 de octubre del 2009


Ing. Julio Cesar Solares Pénate
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Coordinador

Por medio de la presente me permito informarle que he revisado completamente el trabajo de graduación titulado : **“FACTORES EN EL DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACION DE UN LABORATORIO DE METROLOGÍA INDUSTRIAL EN INGENIOS AZUCAREROS”** , desarrollado por el señor Otto Fernando Paau Aquino, dicho trabajo cumple con los objetivos propuestos en el anteproyecto de tesis.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo, como su asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente,


Ing. Anibal Silva de los Ángeles.
Asesor Nombrado
Numero colegiado 5067
Registro de personal de la universidad de San Carlos 2003-1042



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 11 de noviembre de 2009

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **"FACTORES EN EL DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACION DE UN LABORATORIO DE METROLOGIA INDUSTRIAL EN INGENIOS AZUCAREROS"**, desarrollado por el estudiante **Otto Fernando Paau Aquino**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica





REF. EIME 76. 2009.

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 del estudiante; Otto Fernando Paau Aquino titulado: "FACTORES EN EL DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE METROLOGÍA INDUSTRIAL EN INGENIOS AZUCAREROS", procede a la autorización del mismo.


Ing. Mario Renato Escobedo Martínez



GUATEMALA, 25 DE NOVIEMBRE 2,009.



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: **FACTORES EN EL DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE METROLOGÍA INDUSTRIAL EN INGENIOS AZUCAREROS**, presentado por el estudiante universitario **Otto Fernando Paau Aquino**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large loop and a vertical stroke, positioned over the name of the Dean.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, octubre de 2010



/cc
cc. archivo

AGRADECIMIENTOS A

Mis padres: Elena del Carmen Aquino y Luís Raymundo Dionicio.

Mis hermanos: Rosa Elena Paau, Maria Eunice Dionicio, Luís Cesar Dionicio y Luís Fernando Dionicio.

Mis abuelos y tios: Samuel Aquino Dávila, Delfina Vásquez, Maria Victoria Aquino, Patricia Aquino, Lidia Aquino y Luís Fernando Aquino.

Mis compañeros de grupo: Joel Antonio Beteta, Joel Sazo Solares, Carlos Melgar, Justo Cap, Alejandro Vettorazzi, Pedro Obregón y Mario Mérida.

Mis amigos: José Ramón Gutiérrez, Rudy Oswaldo Perez, Oscar Marroquín, Guillermo Mota, Alex Caal.

Mis compañeros de trabajo: José Luís Alfaro, Edgar Estiven Recinos, Steeve Erasmo Toledo.

La Universidad de San Carlos de Guatemala.

Y a todas aquellas personas que me brindaron su amistad y confianza.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE AZÚCAR	1
1.1 Subproceso extracción de jugo	2
1.1.1 Patio de caña	2
1.1.2 Molinos.....	2
1.1.3 Mediciones en línea en el proceso de extracción.....	3
1.2 Subproceso tratamiento de jugo	3
1.2.1 Alcalización y sulfatación de jugo.....	3
1.2.2 Calentamiento de jugo	5
1.2.3 Clarificación o decantación	5
1.3 Evaporación de jugo	5
1.3.1 Mediciones en línea en el proceso de tratamiento de jugo	14
1.4 Cristalización.....	14
1.5 Identificación de variables físicas críticas del proceso.....	15
1.5.1 Subproceso de patio de caña y molinos	15
1.5.2 Subproceso de tratamiento de jugo	15
1.5.3 Recuperación de azúcar.....	16
1.5.4 Generación de vapor y energía eléctrica	16

2. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN PARA INSTRUMENTOS

INTELIGENTES	19
2.1 Protocolo HART	19
2.1.1 Defincion del protocolo Hart	20
2.1.2 Esquema maestro – esclavo Hart	22
2.1.3 Comunicación punto a punto	23
2.1.4 Comunicación multipunto	24
2.2 Profibus	25
2.2.2 Topologia profibus	26
2.2.3 La trama de datos de profibus	33
2.3 Instrumentos para medir presión	34
2.3.1 Presión manométrica	34
2.3.2 Presión absoluta	35
2.3.3 Presión diferencial	36
2.4 Sensores de temperatura	40
2.4.1 Termocoplas	41
2.4.2 Termo resistencias	42
2.5 Medidores de flujo	45
2.5.1 Tubo venturí.....	45
2.5.2 Placa orificio	48
2.5.3 Boquilla o tobera de flujo	49
2.6 Electromagnético	51
2.7 Medidores de densidad	52
2.9 Instrumentos para medir pH	54

3.	INTRODUCCIÓN AL ASEGURAMIENTO METROLÓGICO	59
3.1	Normas ISO 9000:2000	59
3.2	Requisitos del equipo de medición según la norma ISO 10 012-1.....	70
3.3	Metrología para área de balanzas y masas	73
3.4	Métodos de calibración y verificación de instrumentos de pesar	73
4.	ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN	77
4.1	El mensurando.....	77
4.2	Modelo físico.....	79
4.3	Modelo matemático.....	75
4.4	Identificación de las fuentes de incertidumbre	80
4.5	Distribuciones de probabilidad	81
4.6	Reducción.....	83
4.7	Combinación	84
4.8	Coefficiente de sensibilidad	86
4.9	Correlación.....	88
4.10	Incertidumbre expandida.....	89
4.11	Factor de cobertura y nivel de confianza	90
4.12	Grados de libertad.....	90
5.	FACTORES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA	95
5.1	Selección de patrones	95
5.2	Patrones de presión.....	99
5.3	Patrones de temperatura	99
5.4	Patrones de pH.....	101
5.5	Masas patrón	101

5.6	Selección de equipos para realizar calibraciones.....	102
5.7	Balanza de pesos muertos	104
5.8	Bomba de vacío.....	105
5.9	Calibrador pozo seco.....	105
5.10	Calibrador electrónico de procesos	108
5.11	Definición de competencia para el personal técnico.....	110
5.12	Instalación física y requisitos de ambiente controlado.....	111
5.13	Costo y beneficio del laboratorio para la fábrica.....	113
6	DOCUMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA	115
6.1	Plan de calidad del laboratorio de metrología.....	116
6.2	Procedimiento de metrología	116
6.2.1	Desarrollo del procedimiento de metrología	117
6.3	Documentación general	123
6.4	Desarrollo de instructivos de calibración genérico.....	123
6.5	Registros de calibración	127
	CONCLUSIONES.....	133
	RECOMENDACIONES.....	135
	BIBLIOGRAFÍA.....	137

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de azúcar	1
2. Identificación de controles automáticos para una estación de evaporadores.....	6
3. Curva experimental de Kerr.....	11
4. Señal de comunicación HART	21
5. Señal de comunicación.....	22
6. Conexión punto a punto.....	23
7. Conexión multipunto	25
8. La familia profibus.....	26
9. Tabla distancia máximas sin repetidor de red.....	27
10. Estructura física incluyendo repetidores para expansión.....	28
11. Estructura lógica del bus profibus.....	29
12. Arquitectura protocolar.....	30
13. Organización de protocolo basado en tres niveles.....	32
14. Distintos formatos de trama	33
15. Medición de presión.....	35
16. Sensor del transmisor	36
17. Instalación mecánica para medición de presión manométrica.....	37
18. Instalación mecánica transmisor de presión absoluta.....	37
19. Instalación mecánica para un tanque cerrado y abierto.....	39
20. Instalación mecánica para medición de flujo.....	39
21. Termocupla	42
22. Clasificación de termocoplas	44
23. Curva característica de Pt100	44
24. Tubo venturi.....	46

25. Algunos tipos de placas orificios son los siguientes	48
26. Tobera	50
27. Medidor electromagnético	51
28. Tanque abierto	54
29. Electrodo de pH.....	57
30. Diagrama de Benn.....	60
31. Sistema de aseguramiento metrológico.....	62
32. Representación del proceso en la ejecución de una medición	67
33. Carta de trazabilidad del patrón de masa/volumen de Aragón Valencia	70
34. Diagrama para la estimación de la incertidumbre en la medición.....	93
35. Manómetro	97
36. Manómetro de precisión	98
37. RTD patrón	100
38. RTD de precisión.....	101
39. Certificado de calibración de la solución patron de pH.....	102
40. Balanza de pesos muertos	105
41. Bomba de vacío.....	106
42. Calibrado pozo seco	107
43. Calibrador de procesos.....	108
44. Conexiones para la calibración de un transmisor de presión manométrica usando un calibrador de proceso	109
45. Conexiones para la calibración de un transmisor de presión de presión absoluta usando un calibrador de proceso	109
46. Organigrama del laboratorio de metrología	111
47. Higrómetro se usa para medir el grado de humedad del aire.....	113
48. Pirámide del sistema de gestión de calidad.....	115
49. Etiqueta de identificación de instrumento calibrado.....	120

50. Registro protocolo de toma de datos para calibración de toma de datos	129
51. Certificado de calibración interno hoja 1	130
52. Certificado de calibración interno hoja 2	131
53. Certificado de calibración interno hoja 3	132

LISTA DE SÍMBOLOS

°Brix	Unidad de medida de sólidos contenidos en una solución
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
FMS	Fieldbus message specification
ft³	Pies cúbicos
Hz	Hertz
Kg	Kilogramos
mA	Miliamperios
mV	Milivoltios
pH	Nivel de acidez
ppm	Partes por millón
PTC	Coeficiente de temperatura positivo
μF	Micro faradios
p	Densidad

GLOSARIO

Alcalización	Proceso que consiste aplicar un reactivo para elevar el pH de una sustancia.
Calibrador	Dispositivo electrónico o mecánico utilizado para realizar calibraciones de una unidad de medida.
Clarificación	Proceso que consiste en eliminar impurezas no desadas en una sustancia
Cristalización	Proceso que consiste en la formación de cristales de azúcar.
Incertidumbre	Es un parámetro que caracteriza la dispersión de los valores del mensurando
Instructivo	Documento que detalla los pasos a seguir en una tarea específica.
Metrología	Ciencia que estudia sobre realizar correctas mediciones de variables físicas, así como métodos para la calibración de instrumentos que son utilizado para realizar las mediciones.
Patrón	Unidad de referencia utilizada para comparación contra otros dispositivos o instrumentos de medición.

Protocolo	Lenguaje de comunicación entre dos dispositivos electrónicos de forma binaria.
Registro	Documento que se utiliza para dejar evidencia de cualquier trabajo realizado.
Sensor	Elemento en contacto directo con el proceso a medir.
Span	Rango máximo de medida de un dispositivo de medición.
Sulfitación	Proceso de agregar azufre al jugo de caña para eliminar partículas de color oscuro.
Topología	Distribución física de <i>hardware</i> de comunicación industrial.
Transmisor	Dispositivo electrónico que recibe señales del sensor, y convierte a unidades de medida de ingeniería.
Zero	Rango mínimo o valor de referencia cero para un dispositivo de medición.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación tiene como propósito definir los factores en el diseño, para la implementación de un laboratorio de metrología en un ingenio de azúcar.

El proceso de fabricación de azúcar inicia desde el campo con la siembra de la caña, sin embargo, el alcance de este trabajo se limitará a la fábrica específicamente, iniciando así en el subproceso de extracción, donde se prepara la caña. Esto consiste en el picado y desfibrado de las cañas, preparando así la caña para ser molida y por lo tanto el jugo extraído, a continuación de este subproceso, está el tratamiento de jugo, este es un proceso químico–mecánico que cambia de color, elimina impurezas, minimiza las pérdidas de azúcar; la siguiente etapa consiste en la recuperación del azúcar, en la cual las mieles producidas se agotan hasta poder recuperar la mayor cantidad de azúcar posible.

En cada subproceso de la fábrica, hay variables físicas que indican la eficiencia del subproceso en cuestión, tales como temperaturas, presiones, niveles, densidades, color, pH, flujo y otras. Estas son medidas por medidores electrónicos llamados: transmisores inteligentes electrónicos, estos equipos pueden ser configurados y calibrados para realizar dichas mediciones, sin embargo muchas veces, por el desconocimiento son configurados e instalados erróneamente, lo cual conlleva a erróneas mediciones. Esto produce inestabilidad en la fábrica y también por lo tanto la calidad en el producto final es afectado. Los factores importantes a tomar en cuenta para la implementación del laboratorio de metrología son: definición de las variables críticas a seguir, de las cuales se dirá que están bajo control metrológico.

Para ello existirá un plan de calibración con una cierta periodicidad definida por los usuarios. Otro de los factores, una vez definidas las variables críticas del proceso, es la adquisición de patrones y equipamiento para realizar las calibraciones de los instrumentos inteligentes.

Un último factor importante es el sistema de gestión de calidad para el laboratorio de metrología, el cual consistirá en realizar en forma ordenada y registrada cada uno de los trabajos de calibración realizados dentro de este. En este último capítulo del trabajo se presenta la documentación necesaria para realizar y registrar, dejando así evidencia de todas las calibraciones efectuadas.

OBJETIVOS

- **GENERAL**

Diseñar un laboratorio de metrología para la industria azucarera, según los requerimientos del proceso de fabricación.

- **ESPECÍFICOS**

1. Identificar las variables físicas críticas en línea que tienen incidencia directa en la calidad del azúcar.
2. Determinar las diferentes tecnologías que existen para medir las variables físicas críticas del proceso de fabricación de azúcar.
3. Seleccionar instalaciones físicas, patrones y equipos para realizar las calibraciones de los instrumentos bajo control metrológico dentro del laboratorio.
4. Realizar la documentación necesaria para el sistema de gestión de calidad del laboratorio de metrología.

INTRODUCCIÓN

Los ingenios azucareros son considerados como una de las más grandes industrias en Guatemala, se caracteriza por ser un proceso continuo en el cual intervienen diferentes tipos de variables físicas en la fabricación del azúcar, como: la temperatura, presión, flujos, niveles densidades etc. Mediciones erróneas en los instrumentos de medición en tiempo real, pueden ocasionar problemas en la operación de la fábrica, afectando directamente la calidad del producto final en este caso el azúcar. Tener una confianza en las mediciones en línea a lo largo del proceso, proporciona una certeza y estabilidad en la operación de la fábrica. Por tal motivo es de suma importancia tener un sistema de gestión de calidad que garantice la confiabilidad de las mediciones de los equipos electrónicos. Esto se logra con la implementación del laboratorio de metrología.

El presente trabajo de graduación tiene como propósito definir los factores para la implementación de un laboratorio de metrología en la industria azucarera, atendiendo así las exigencias que esta importante industria requiere.

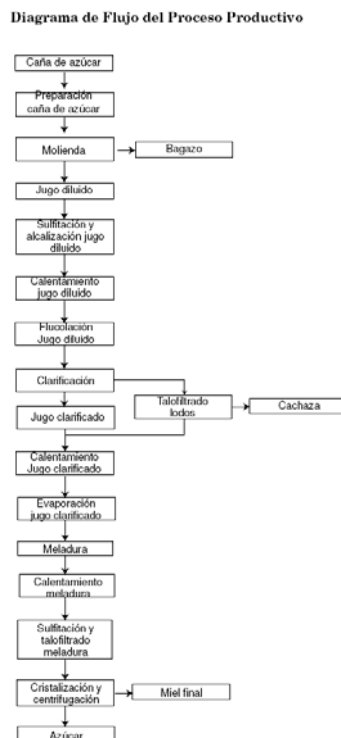
En el capítulo uno se explica el proceso continuo en la fabricación del azúcar, es importante conocer el proceso, ya que esto permitirá encontrar oportunidades de mejora para el futuro, además se describe los diferentes subprocesos que se realizan, se identifican las variables más críticas que afectan la calidad del azúcar.

En el capítulo dos se analizan las diferentes tecnologías para la medición de variables físicas como: la temperatura, presión, nivel, flujo, densidad y pH. Así como, las instalaciones correctas para realizar las aplicaciones.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE AZÚCAR

El principal factor para diseñar un laboratorio de metrología es conocer el proceso de fabricación, conocer las diferentes etapas del proceso ayudará a definir las variables críticas, que se definirán más adelante como variables bajo control metrológico. Al decir bajo control metrológico, esto significa que los instrumentos electrónicos usados para medir estas variables contarán con documentación que respalde la confiabilidad de la medición (certificados de calibración internos o externos), y que tendrán un programa para su calibración respectiva.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de azúcar



1.1 Subproceso extracción de jugo

1.1.1 Patio de caña

Patio de caña es un subproceso puramente mecánico, en el cual se prepara la caña para su molienda, la preparación de caña únicamente consiste en la limpieza, el picado y es desfibrado de la caña. En el proceso de preparación intervienen mecanismos llamados picadoras las cuales se encargan de picar y exponer la sacarosa contenida en la caña. En este proceso de picado existen pérdidas que no es posible evitar debido al proceso violento con que es triturada la caña.

1.1.2 Molinos

En el subproceso de molinos, una vez preparada la caña, ingresa esta al primer molino donde es extraído el jugo que contiene. Los molinos típicos son de 4 mazas, el juego de estas cuatro masas se encargan de exprimir en varias etapas la caña ya preparada; para extracción del jugo de caña que contiene el azúcar, se emplea agua a una temperatura de 65 °C, que facilita la extracción de la sacarosa. El jugo contenido del primero molino es con mayor pureza; en los siguientes molinos el jugo obtenido de estos recibe el nombre de jugo mezclado, el cual tiene una menor pureza comparándole con el jugo obtenido del primer molino. Una vez extraído el jugo de caña este pasa al respectivo subproceso que es tratamiento de jugo. El residuo obtenido de la caña que comúnmente es llamado bagazo, se emplea para alimentar las calderas del tipo biomasa, aprovechando así el bagazo de la caña como un combustible para las calderas.

1.1.3 Mediciones en línea en el proceso de extracción

Las mediciones en línea que se tiene en este subproceso son:

- Peso de caña entrando al primer molino
- Flujo de agua de imbibición
- Flujo de jugo crudo
- Flujo de jugo mezclado

1.2 Subproceso tratamiento de jugo

1.2.1 Alcalización y sulfatación de jugo

Sulfatación

Este proceso se efectúa con el fin de dar brillo al azúcar, disminuir color, eliminar microorganismos y disminuir viscosidad. La sulfitación proviene del proceso de quema de dióxido de azufre en bandejas que posteriormente produce un gas que es transportado a unas torres donde reacciona con el jugo. El pH ideal a la entrada de este proceso debe estar entre 5,2 y 5,5; y al final debe estar entre 4,2 y 4,5. Para tener un color más bajo se requiere un pH bajo, sin embargo, se pueden obtener pérdidas si los niveles de pH son muy bajos, ya que la sacarosa sufre un proceso de desdoblamiento, es decir, se invierte en glucosa y fructosa, estado en el cual no se puede efectuar la cristalización. La cantidad de sulfitos establecida en el Ingenio está entre 200 y 300 ppm (partículas por millón).

Si se obtiene una cantidad inferior a la establecida se produciría poca disminución de color, si por el contrario la cantidad de sulfitos es mayor a la establecida, se aumentarían las pérdidas de azúcar por inversión.

Las variables dependientes de la sulfitación son:

– pH: nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia.

DpH: es la diferencia entre el pH a la entrada del proceso y el pH a la salida. Si el Δ pH es inferior a 1, se puede hablar de una mala sulfitación y se obtendrá azúcar de un alto color (azúcar morena o cruda) alejándose del azúcar especial. Si el Δ pH es muy superior a 1, se obtendrá un azúcar de un color muy bueno pero se aumentarán las pérdidas por inversión. –

Color: determina la calidad de los jugos y el azúcar. Se mide en unidades de mili absorbancia UMA.

Alcalización

Este proceso consiste en agregar cal al jugo que ha sido sulfitado, con el fin de defecar el jugo, neutralizar el pH y disminuir pérdidas por inversión. Esto se logra debido a que la cal reacciona con las impurezas y con ayuda de los fosfatos propios del jugo se forman unos coágulos. La variable independiente que se mide en este proceso es el nivel de fosfatos, sustancia inherente al jugo que al reaccionar con la cal y las impurezas permite la formación de coágulos, los cuales se decantan obteniéndose un jugo clarificado. El ingenio tiene como cantidad aceptable de fosfatos desde 220 ppm. La variable más importante a tener en cuenta es la cantidad de cal que se deposita en el proceso.

1.2.2 Calentamiento de jugo

Una vez se agrega la cal al jugo es necesario calentarlo con el fin de que ésta reaccione. En un primer calentamiento se lleva el jugo hasta 75 °C y luego en el segundo calentamiento se lleva hasta 105 °C

Aproximadamente, la única variable independiente en este proceso es la temperatura, que está dada en grados Celsius (°C).

1.2.3 Clarificación o decantación

Después de haber calentado y adicionado cal y floculante al jugo es necesario dejarlo en los tanques clarificadores por un determinado tiempo denominado tiempo de residencia. La variable independiente de este proceso es el tiempo de residencia.

Precalentamiento del jugo clarificado

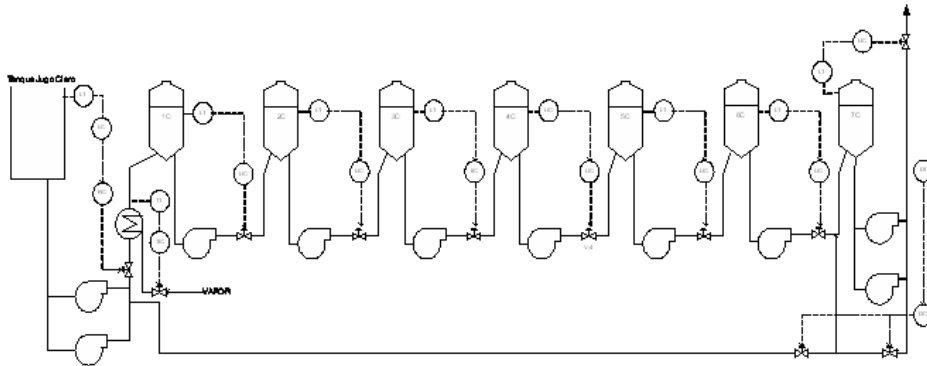
El jugo limpio resultante llega a unos preevaporadores con una temperatura menor a la del punto de ebullición, pues en varios de los procesos anteriores ésta ha disminuido. Antes de entrar a la parte de evaporación se debe calentar, para que cuando llegue a los evaporadores tenga una temperatura ideal y empiece el proceso. En este calentamiento se debe medir la temperatura y mantenerla controlada, y es realizado en el primero de los evaporadores de múltiple efecto.

1.3 Evaporación de jugo

Los evaporadores constituyen una de las estaciones más importantes en las fábricas de azúcar. En estos equipos se remueve cerca del 80% del agua

contenida en el jugo clarificado, logrando concentrar los sólidos de 13° hasta 64°-70° Brix, con el fin de lograr economía en el vapor, menor tiempo de operación en los tachos, menor volumen de meladura en tanques y con esto evitar que existan paradas por llenos en tachos.

Figura 2. Identificación de controles automáticos para una estación de evaporadores



La presión del vapor y la cantidad de jugo en la calandria es muy importante para una operación eficiente. En este sentido, existen causas que pueden contribuir a la ineficiencia de un evaporador:

1. Presiones de vapor inadecuadas.
2. Vacío muy bajo.
3. Evaporador incrustado.
4. Circulación de jugo deficiente.
5. Niveles de jugo incorrectos.
6. Extracción de gases incondensables deficiente.
7. Drenajes de condensados deficientes.
8. Diferencia de presión entre vapor de escape y el vacío del quinto efecto.

Otras causas que pueden afectar la operación eficiente de la evaporación son:

- a) Exceso de molida
- b) Exceso de imbibición
- c) Molida irregular
- d) Uso de agua adicional a molinos

Presiones de vapor

La presión y la cantidad de vapor que se aplica a la calandria del primer vaso del evaporador es muy importante para una operación eficiente. Generalmente, la capacidad de los evaporadores está diseñada para una presión determinada por el vapor de escape, la presión del vapor se debe de mantener sin fluctuaciones apreciables. El vapor que se aplica tanto en los evaporadores, como en los calentadores de jugo y tachos es vapor saturado.

En otros trabajos, se ha justificado el uso de vapor con sobrecalentamientos entre 30-50 °C (Webre, 1947), sin que se afecte sustancialmente la transferencia de calor. Para mayores grados de recalentamiento, (Beale and Stewart, 1963) se reportan disminuciones de hasta 7.5% en la transferencia de Calor.

Control de vacío

De acuerdo con recomendaciones operativas para aumentar eficiencia, el vacío en el último cuerpo del evaporador debe ser de 25 a 27 pulgadas de mercurio. En tal sentido, en Hugot (1986) se menciona que los efectos más importantes de controlar el vacío son:

- Reducir el punto de ebullición. La temperatura de ebullición del jugo disminuye a medida que aumenta el vacío y disminuye la presión. Esto permite evaporar el agua del jugo a través del evaporador, usando una temperatura más baja.
- Prevenir la destrucción de azúcar: Prevenir la inversión por temperaturas altas y tiempos prolongados.

Respecto a la economía de vapor, Arca (1986), presenta el primer principio de Rillieux “En evaporadores a múltiple efecto por cada libra de vapor usado, tantas libras de agua serán evaporadas como cuerpos existan en el tren de evaporadores”. Esto se cumple en la práctica siempre y cuando la temperatura del jugo que se alimenta al evaporador sea igual al punto de ebullición del jugo dentro del primer cuerpo, ya que si la temperatura de alimentación es menor se evaporará ligeramente un poco menos de agua y si fuese mayor, la evaporación será ligeramente mayor.

Incrustaciones:

Durante la operación del evaporador, la concentración (Brix) del jugo va aumentando desde el primer cuerpo (brix de 14°-16°) hasta el último cuerpo 60°-70° brix. Una cantidad de impurezas, especialmente sales minerales, se vuelven menos solubles, por lo que parte de ellas se depositan sobre la superficie interior de los tubos de la calandria. Las incrustaciones no solamente son una consecuencia de la concentración sucesiva del jugo, sino también es afectada por las condiciones de operación, temperatura en las superficies de calentamiento, y el grado de circulación. Las incrustaciones en el evaporador tienen una importancia económica para la fábrica, ya que la afectan de la siguiente manera:

- Disminución de la transmisión de calor.
- Aumento en el consumo de energía (vapor).

Circulación del jugo

La circulación del jugo a través de los evaporadores tiene gran influencia en la transmisión del calor y además afecta la formación de incrustaciones. Generalmente, la circulación del jugo de un cuerpo hacia el siguiente se hace de fondo a fondo mediante tubería de diámetro apropiado y lo más recta y corta posible. El jugo es distribuido mediante varios sistemas, entre otros por ejemplo, platillos cónicos con tubo en forma de anillo con huecos o con tubo en forma de anillo con ranuras. Ambos dirigen el jugo hacia los tubos en la periferia. El objetivo es lograr que el jugo se distribuya lo más uniformemente posible. Que suba por los tubos de la calandria y retorne hacia abajo por el tubo central de donde pasará al siguiente cuerpo.

Cuando esta circulación de jugo es deficiente, aparece una parte de la calandria donde el jugo no circula hacia arriba, en cuyo caso no se estará aprovechando a plenitud el área de transferencia de calor para la evaporación. También puede existir cortocircuito entre el flujo del jugo entrando y saliendo. En este caso la porción del jugo que hierve en el interior de los tubos se concentrará a un Brix mayor que el del jugo saliendo y puesto que el coeficiente de transmisión de calor disminuye a medida que aumenta el Brix, la transferencia de calor se hace más pobre.

Otros sistemas en uso para regular la circulación del jugo son el sistema Chapman y el sistema Webre.

El sistema Chapman consiste simplemente en adaptar un embudo en la parte inferior del tubo central. La tubería que conecta con el siguiente cuerpo sale desde dicho cono. De esta forma el jugo que sale será sólo aquel que circule hacia abajo por el tubo central y el cono situado en su fondo. En este sistema es posible que el jugo pase varias veces por los tubos antes de descender por el tubo central. Por esta razón se reporta un aumento de capacidad de evaporación del orden 15-20%.

El sistema Webre es similar al Chapman, pero en este caso el embudo ocupa tan sólo la mitad del diámetro del tubo central y está situado dentro del tubo central en lugar de en el fondo. Además consta de una mampara sobre la placa superior para evitar cortocircuito. Este sistema tiende a aumentar la capacidad de evaporación de 20 a 25%. De otro lado, en el trabajo (Webre, 1961) se manifiesta que tal incremento está entre el 25 y el 50%, dependiendo de las condiciones locales.

Niveles de jugo

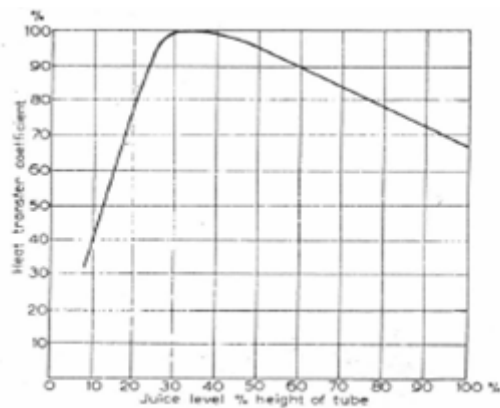
Los niveles de jugo en todos los cuerpos de los evaporadores deben ser aproximadamente $1/3$ de la altura de los tubos de la calandria, con el fin de obtener el máximo de evaporación y disminuir las incrustaciones (Honig, 1982). El objetivo de esto es reducir la carga hidrostática que afecta el punto de ebullición, mantener un movimiento rápido del jugo sobre la superficie de calentamiento, evitar el recalentamiento del jugo y reducir las incrustaciones al aumentar la velocidad del jugo además de evitar formación de color por bajos niveles de jugo en la calandria.

En los tipos de evaporadores generalmente en operación en las fábricas de azúcar de caña, cuando los niveles de jugo son altos se reduce la

transmisión de calor y lo mismo cuando los niveles son bajos. Por lo que Kerr (citado en Hugot, 1986), menciona que el coeficiente de transferencia de calor tiene valores de 90 al 100% con niveles del 25 al 40%.

Se propone usar para una configuración de evaporadores de quintuple efecto, los siguientes niveles de operación: primer y segundo efecto 25%, tercer efecto 30%, cuarto efecto 35% y quintuple efecto 45%. Por su parte, Kerr (citado en Hugot 1986) basado en el estudio de cargas hidrostáticas determinó que el punto óptimo de los niveles debería estar alrededor de 35%. Dicho estudio, se realizó en evaporadores con tuberías de 2.5 pies de largo. Indica que en evaporadores con tubos cortos el rango de niveles de operación puede estar entre 25 y 36% y en evaporadores con tubos largos (mayores de 7 metros) los niveles óptimos deberían estar entre 15 y 20%. El punto óptimo puede variar al producirse las incrustaciones, ante ello el nivel se debe incrementar a valores de 25 a 30%.

Figura 3. Curva experimental de Kerr.



Extracción de gases incondensables

Si los gases incondensables no son removidos continuamente, se reducirá la transmisión de calor y la capacidad del evaporador. Se ha comprobado que la eficiencia de un evaporador puede disminuir del 1% a 8% debido a la acumulación de gases incondensables.

Pueden instalarse termómetros en la tubería de salida de gases y en la calandria, se regulan las válvulas para la salida de gases en forma tal que la diferencia entre las dos temperaturas sea de unos 5 °C, pudiendo automatizarse esta operación.

Drenajes de condensados

Cuando se emplea el vapor en el proceso de evaporación, lo que se desea realmente es transmitir el calor del vapor hacia el jugo. El vapor o vapores cuando se condensan en las calandrias del evaporador se transforman en agua, cediendo su calor latente; esto exige que esta agua sea removida continuamente del interior de la calandria, ya que si no, la acumulación de agua permanece en la calandria y cubrirá la superficie para la transferencia de calor e inmovilizara el evaporador.

Diferencial de presiones

El requerimiento básico en la evaporación es que la temperatura de ebullición del jugo en cada cuerpo sucesivo, sea más bajo que la temperatura del vapor que entra en la calandria de ese cuerpo. En este sentido, el flujo de calor a través de la superficie de calentamiento es proporcional a la diferencia de temperatura entre el vapor por un lado y el jugo por el otro. El requerimiento básico es la temperatura de ebullición del jugo en cada cuerpo sucesivo, sea más bajo que la temperatura del vapor que entra en la calandria de ese cuerpo.

Esta diferencia de temperatura es la que permite la transmisión de calor, desde los vapores hacia el jugo, a través de los tubos de metal en la calandria. El flujo de calor a través de la superficie de calentamiento es proporcional a la diferencia de temperatura entre el vapor por un lado y el jugo por el otro. El valor del diferencial de presiones se determina calculando la diferencia entre la presión de vapor de escape que se aplica a la calandria del primer cuerpo de evaporador, estas presiones tienen que ser expresadas como presiones absolutas. Este diferencial se denomina como caída total de presión. A mayor diferencial de temperatura corresponderá mayor eficiencia en los evaporadores.

En la práctica, tanto el diferencial de presiones como el diferencial de temperatura, es una indicación de las condiciones en que está operando el evaporador. La caída de presión normal deberá de ser de 21 a 23 psi para lograr el máximo de eficiencia.

1.3.1 Mediciones en línea en el proceso de tratamiento de jugo

Las mediciones en línea en tiempo real tomadas por transmisores electrónicos en subproceso de tratamiento de jugo son las siguientes:

- 1 Mediciones de pH de jugo alcalizado
- 2 Mediciones de flujo de jugo alcalizado en gpm
- 3 Mediciones de temperaturas de jugo alcalizado
- 4 Mediciones de niveles de tanques de jugo
- 5 Mediciones de niveles de evaporadores.
- 6 Mediciones de brix de meladura
- 7 Mediciones de presión de vapor
- 8 Mediciones de temperatura de vapor
- 9 Medición de turbidez de jugo

1.4 Cristalización

La meladura clarificada va a los tachos, los cuales son tanques donde se lleva a cabo la cristalización. Esta se dirige inicialmente al primer tacho (Tacho A) en donde se deposita un 70% de meladura y un 30% de semilla (la semilla es un cristal de azúcar muy fino que se alimenta de sacarosa presente en la meladura, enriqueciendo el tamaño del grano). Del tacho A sale una masa compuesta de miel y cristales, la cual es llevada a un proceso de centrifugación, en donde se le agrega agua para diluir la miel impregnada en el grano, obteniéndose al final azúcar cristalizada y miel (miel A). Esta última posee aún un alto contenido de sacarosa.

La azúcar cristalizada después de la centrifugación pasa por un proceso de secado, en el que se elimina el agua y se extrae el azúcar con el tamaño ideal, separando el azúcar de tamaño muy grande. El proceso de secado no se

efectúa para el azúcar crudo a granel. La miel A se pasa al tacho B en el cual hay semilla B que es azúcar refinada triturada. Los cristales comienzan a absorber la sacarosa presente en la miel, hasta obtener un azúcar muy pequeño, que se utiliza como semilla en el tacho A. Del tacho B se obtiene miel B, que se lleva al tacho C, en donde se realiza el mismo proceso que en otros tachos. En este proceso, solamente para la producción de azúcares blancas, se adiciona hidrosulfito de sodio.

1.5 Identificación de variables físicas críticas del proceso

1.5.1 Subproceso de patio de caña y molinos

En patio de caña y molinos la variables críticas que afectan la eficiencia de la fábrica son:

- Flujo de agua de imbibición
- Flujo de jugo crudo
- Peso de caña a la entrada del molino 1

1.5.2 Subproceso de tratamiento de jugo

El tratamiento de jugo existen variables que tienen incidencias en la calidad del azúcar, así como en la eficiencia de la fábrica estas son listadas según su importancia

Presión de vapor hacia evaporadores

- pH de jugo alcalizado
- Brix de meladura (salida de evaporadores)
- Temperatura de jugo claro y jugo alcalizado

- Flujo de jugo claro y alcalizado
- Niveles de jugo en los evaporadores
- Turbidez de jugo en clarificadores

1.5.3 Recuperación de azúcar

En este subproceso también se tiene variables medidas en tiempo real por instrumentos electrónicos, datos que son almacenados en una base de datos de históricos, las variables críticas de eficiencia y de calidad son las siguientes:

- Peso de sacos del envasado de fábrica
- Presiones de vapor
- Temperatura del azúcar
- Humedad del azúcar
- Color del azúcar

1.5.4 Generación de vapor y energía eléctrica

En el subproceso de generación de vapor y electricidad, tienen las siguientes variables críticas.

- Presión de vapor en el domo de caldera
- Presiones de hogar de las calderas bagaceras
- Nivel de agua en el domo de calderas.
- Flujo de vapor de calderas
- Kilowatts-hora generados

Las variables físicas identificadas en el proceso serán sujetas al control metrológico, realizando calibraciones a los instrumentos de medición ya sea del

tipo calibración interna o bien calibración externa en los equipos que sea necesaria su calibración.

2. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN PARA INSTRUMENTOS INTELIGENTES

En la actualidad existen diferentes tipos de protocolos de comunicación entre los transmisores y un sistema de control distribuido, hay varios protocolos del tipo propietario y del tipo abierto. Tienen características en contra y a favor de los diferentes protocolos sin embargo el tiempo y el posicionamiento en el mercado ha hecho sobrevivir o desaparecer los diferentes tipos de protocolos de comunicación industrial. El tipo de protocolo más común es encontrar el protocolo hart, profibus y ethernet.

2.1 Protocolo hart

En el medio altamente competitivo de hoy, todas las compañías buscan reducir los costos de operación, entregar sus productos rápidamente, y mejorar la calidad de estos. El protocolo HART contribuye con estas metas de producción, permitiendo ahorrar gastos en:

1. Comisionamiento e instalación.
2. Operaciones de planta y mejoramiento de la calidad.
3. Mantenimiento.

El Protocolo HART fue desarrollado por Rosemount a finales de los años `80. HART es la sigla de “Highway Addressable Remote Transducer”. El protocolo fue abierto para que otras compañías pudieran usarlo en 1990, ese mismo año fue creado un grupo de usuarios. En marzo de 1993, el grupo votó para la creación de una organización independiente y sin fines de lucro, para un mejor soporte del Protocolo HART. En julio de ese mismo año, la “HART Comunicación Foundation” (HCF) fue establecida para proveer soporte a escala

mundial para la aplicación de esta tecnología. Diseñado para complementar la tradicional señal analógica de 4-20 mA, el protocolo HART soporta las comunicaciones digitales por dos cables para medición de procesos y dispositivos de control. Sus aplicaciones incluyen interrogación remota y acceso cíclico a variables de proceso, definición de parámetros y diagnósticos. Además es soportado por los proveedores más grandes de instrumentación y dispone de cobertura para productos de todo el rango de medición de procesos y aplicaciones de control.

2.1.1 Definición del protocolo HART

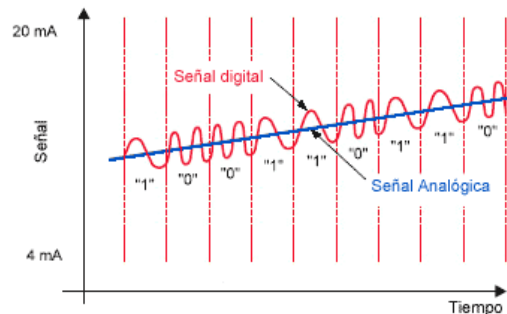
El método tradicional de transmisión de datos con 4-20 mA, solo se limita a transmitir la magnitud de la medición. Con la evolución en los procesos y la aparición de la instrumentación de campo inteligente, se hizo necesario encontrar nuevas formas de transmisión, en este marco se desarrolla el Protocolo HART, un protocolo híbrido, que mezcla la señal analógica de corriente con la transmisión de datos digitales por los mismos dos cables sin que se distorsionen ninguna de las dos señales. Este tipo de comunicación trae dos grandes ventajas, primero el cableado existente y las estrategias de control actualmente utilizadas, no deberán ser totalmente reemplazados al momento de implementar HART, y segundo toda la información adicional que se puede transmitir (tags, datos de rango y span, información del producto y diagnósticos etc.), la cual puede permitir ahorrar mucho tiempo y dinero a la hora de la mantenimiento, y además mejora el manejo y la utilización de las redes de instrumentos inteligentes.

HART es un protocolo que puede funcionar como Maestro-esclavo (un dispositivo de campo sólo responde cuando se le ha pedido algo previamente). Así como puede funcionar en modo ráfaga.

Puede haber hasta dos maestros y hasta 15 dispositivos esclavos se pueden conectar en configuración multipunto.

Cabe destacar que HART posee una arquitectura abierta, disponible para cualquier proveedor y para cualquier usuario. El protocolo HART agrupa la información digital sobre la señal analógica típica de 4 a 20 mA DC. La señal digital usa dos frecuencias individuales de 1200 y 2200 Hz, que representan los dígitos 1 y 0 respectivamente y que en conjunto forman una onda sinusoidal que se superpone al lazo de corriente de 4-20 mA.

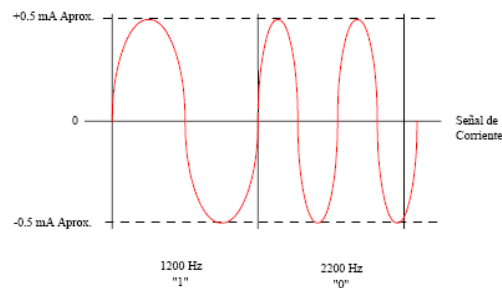
Figura 4. Señal de comunicación HART



El protocolo HART opera usando el principio de modulación por desplazamiento en frecuencia (FSK), el cual está basado en el estándar de comunicación Bell 202. La señal digital se construye a través de un ciclo de 1200 Hz, para representar el bit 1 y aproximadamente dos ciclos de 2200 Hz que representan el bit 0. La tasa de transmisión de datos es de 1200 baudios. Lo que significa que los dígitos binarios se transmiten a 1200 bits por segundo. Las señales sinusoidales son superpuestas a las señales de corriente, a un bajo nivel, logrando así que las dos señales se transmitan por los mismos dos cables, gracias a que el valor promedio de la señal FSK es siempre cero, la señal de 4-20 mA nunca se verá distorsionada. Esto produce una comunicación

simultánea con un tiempo de respuesta aproximado de 500 ms para cada dispositivo de campo, sin que ninguna de las señales análogas sea interrumpida.

Figura 5. Señal de comunicación



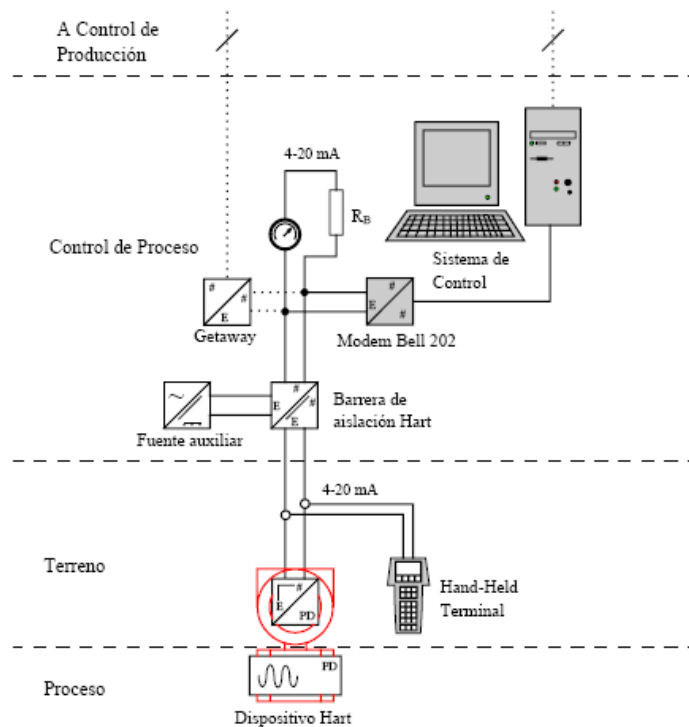
2.1.2 Esquema maestro-esclavo HART

Como se dijo anteriormente HART funciona a través del sistema maestro-esclavo. Como su nombre lo dice este sistema consta de dos tipos de dispositivos, uno al que se llamo maestro, el cual está encargado de iniciar las comunicaciones y es el que pide la información. Los dispositivos esclavos, en tanto, sólo envían información cuando se les solicita. El proceso por el cual el maestro envía un mensaje y recibe una respuesta (en caso de haberla) se denomina transacción. Existiendo dos tipos de transacción.

2.1.3 Comunicación punto a punto

Como se puede apreciar en la figura 6, que es el lazo más simple, en el cual se tiene un maestro primario (PC), y uno secundario (HART comunicador), así como un esclavo (transmisor de presión). En las operaciones punto a punto el dispositivo de campo tiene la dirección 0 y su salida de corriente es de 4-20 mA. En el caso de los instrumentos pasivos, es decir que obtienen alimentación del lazo se dispone una fuente que alimentará al lazo. Esta se conectará en serie al instrumento y a una resistencia de carga, los estándares HART permiten resistencias de 230 a 1100.

Figura 6. Conexión punto a punto

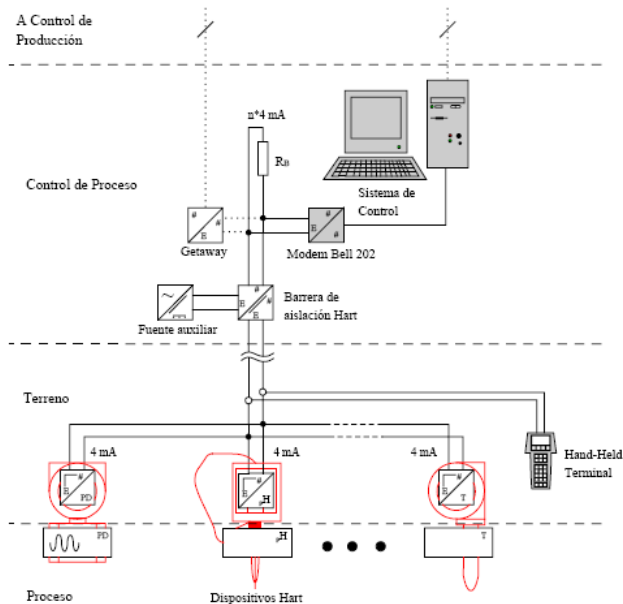


La señal HART debe introducirse y leerse desde el lazo de corriente, la fuente se encuentra casi en corto circuito para las frecuencias HART, por esto los dispositivos maestros deben ir en paralelo al instrumento o a la resistencia de carga. Además un equipo HART no debe contribuir con ninguna carga DC al lazo. Para esto se conectan a través de un condensador de 5 μF o más. Para instrumentos activos, es decir que alimentan al lazo, no se necesita una fuente de poder y esta es eliminada de la conexión.

2.1.4 Comunicación multipunto

En este modo se pueden conectar hasta 15 instrumentos en paralelo, usando un par de cables, y una fuente en caso que se requiriera, como se ve en la figura 2.5. A diferencia del modo punto a punto las direcciones de los dispositivos van del 1 al 15 y las salidas de corriente de cada uno se fijan en 4 mA. Para este modo de operación los controladores e indicadores deben contar con un HART modem. Las consecuencias más destacables de este modo de transmisión son dos, retardo en la comunicación maestro-esclavo, y pérdida de la señal analógica, ya que como se dijo anteriormente, la corriente de salida de cada instrumento se fija en 4 mA.

Figura 7. Conexión multipunto

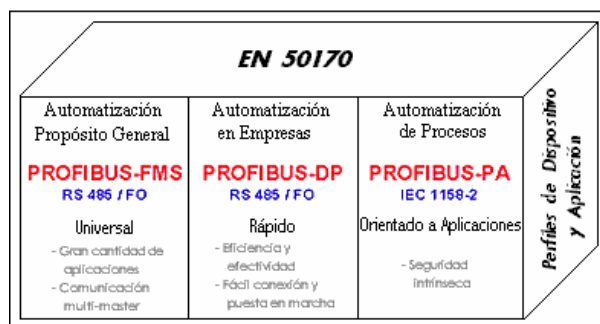


2.2 Profibus

Profibus es un bus de campo estándar que acoge un amplio rango de aplicaciones en fabricación, procesado y automatización. La independencia y franqueza de los vendedores está garantizada por la norma EN 50 170. Con Profibus los componentes de distintos fabricantes pueden comunicarse sin necesidad de ajustes especiales de interfaces. Profibus puede ser usado para transmisión crítica en el tiempo de datos a alta velocidad y para tareas de comunicación extensas y complejas. Esta versatilidad viene dada por las tres versiones compatibles que componen la familia se listan a continuación

- Profibus PA:**
 Diseñado para automatización de procesos.
 Permite la conexión de sensores y actuadores a una línea de bus común, incluso en áreas especialmente protegidas.
 Permite la comunicación de datos y energía en el bus mediante el uso de 2 Tecnologías (norma IEC 1158-2).
- Profibus DP:**
 Optimizado para alta velocidad.
 Conexiones sencillas y baratas.
 Diseñada especialmente para la comunicación entre los sistemas de control de automatismos y las entradas/salidas distribuidas.
- Profibus FMS:**
 Solución general para tareas de comunicación a nivel de célula.
 Gran rango de aplicaciones y flexibilidad.
 Posibilidad de uso en tareas de comunicación compleja y extensa.

Figura 8. La familia profibus



Puede decirse, sin lugar a dudas, que profibus ha conseguido definir toda una red de comunicación industrial, desde el nivel físico hasta el de aplicación, integrando al máximo las técnicas de comunicación previamente definidas y consolidadas y habiendo superado la en un primer momento poca disponibilidad de información en inglés, lo que dificultaba su divulgación a nivel de fabricantes no germanos. En la actualidad la estructura es tal que los grupos de los 20 países más industrializados ofrecen un soporte en su idioma para el resto del mundo. Todos los grupos de usuarios se unen bajo la organización profibus internacional (PI), que con más de 750 miembros.

La tecnología de transmisión más usada es la RS 485, conocida habitualmente como H2. Su área de aplicación comprende aquellas aplicaciones donde prima su simplicidad, la velocidad de transmisión y lo barato de la instalación. Se usa un par diferencial con cable trenzado, previsto para comunicación semi-duplex, aunque también puede implementarse con fibra óptica y enlaces con estaciones remotas vía módem o vía radio. La velocidad de transmisión varía entre 9.6Kbits/s y 12Mbits/s, dependiendo del medio físico, como se indica en la siguiente tabla:

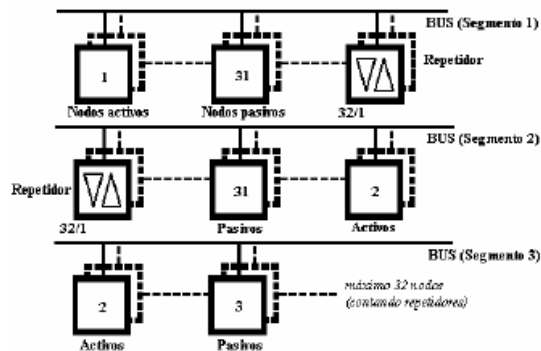
Figura 9. Distancia máximas sin repetidor de red

<i>MEDIO FISICO</i>	<i>VELOCIDAD (Kbits/s)</i>				
	<i>9.6-93.75</i>	<i>167.5</i>	<i>500</i>	<i>1500</i>	<i>2000</i>
<i>RS 485 0.2² (24 AWG)</i>	1200m	600m	200m	100m	50m
<i>RS 485 0.5² (20 AWG)</i>	2400m	1200m	400m	200m	100m
<i>F.Opt.Cuarzo 62.5-125µm</i>	1400m	1400m	1400m	1400m	1400m
<i>F.Opt.Plástico 0-40°C 0-50°C</i>	5-25m 10-20m	5-25m 10-20m	5-25m 10-20m	5-25m 10-20m	5-25m 10-20m

2.2.2 Topología profibus

La topología puede ser simplemente en forma de bus lineal o en forma de árbol, en el que los repetidores constituyen el nudo de partida de una expansión del bus. En este caso, la estructura en árbol es puramente una impresión de dibujo, ya que, como se verá, el profibus admite una estructura lógica de maestro flotante y una estación activa, ejerciendo el papel de maestro, que puede estar físicamente conectada a lo que se pudiera considerar una expansión del bus. Por tanto, incluso en caso de ramificaciones debe considerarse como un bus único. El número máximo de nodos conéctales a cada tramo del bus, sin necesidad de repetidores es de 32. A efectos de esta limitación los propios repetidores cuentan como un nodo. El número máximo de nodos del bus es de 127, de los cuales un máximo de 32 pueden ser nodos activos.

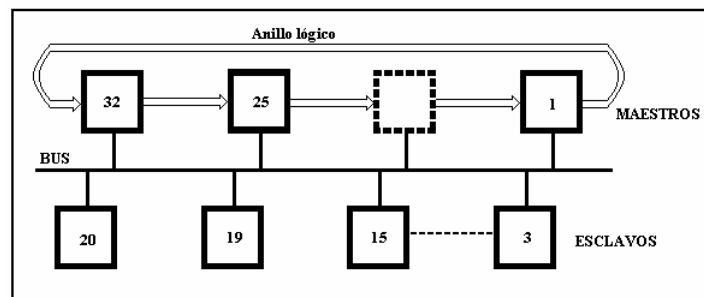
Figura 10. Estructura física incluyendo repetidores para expansión



La estructura lógica es de tipo híbrido: las estaciones activas comparten una estructura de maestro flotante, relevándose en el papel de maestro mediante paso de testigo. Las estaciones pasivas sólo pueden ejercer el papel

de esclavos, sea cual sea el maestro activo en cada momento. Se ilustra esta estructura. Naturalmente, esta estructura admite la posibilidad de que exista un solo nodo activo en el bus, con lo que se convertiría en un bus con una estructura del tipo maestro esclavo. Cabe señalar que cuando una estación activa posee el testigo, considera a todas las demás como esclavos, incluyendo también al resto de estaciones activas que no poseen el testigo en aquel momento.

Figura 11. Estructura lógica del bus profibus



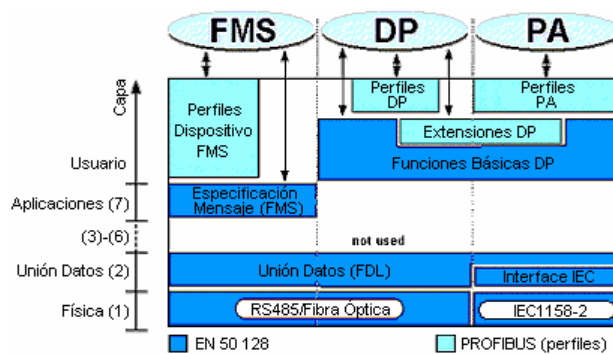
Profibus especifica las características técnicas y funcionales de un sistema de buses de campo serie con el cual controladores digitales descentralizados pueden trabajar juntos en red desde el nivel de campo hasta el nivel de célula.

Esto lo hace distinguiendo entre elementos maestros y elementos esclavo. Los dispositivos maestros determinan la comunicación de datos en el bus. Un maestro puede enviar mensajes sin una petición externa cuando mantiene el derecho de acceso al bus (llamado de forma común "testigo"). Los dispositivos esclavo son dispositivos periféricos. Algunos de ellos son las entradas y salidas, las válvulas y los transmisores de medida. No tienen derecho de acceso al bus y sólo pueden reconocer mensajes recibidos o enviar

mensajes al maestro cuando este se lo ordena (por lo que se les llama estaciones pasivas). Su implementación es especialmente económica ya que sólo requieren una pequeña parte del bus.

Profibus está basado en normas internacionalmente reconocidas. La arquitectura protocolar está orientada al sistema OSI, modelo de referencia de acuerdo con la norma internacional SO 7498.

Figura 12. Arquitectura protocolar



La capa 1 o capa física define las características de la transmisión. La capa 2 o capa de enlace define el protocolo de acceso al bus y se encarga de establecer el orden de circulación del testigo una vez inicializado el bus, adjudicando el testigo en el arranque, en caso de pérdida del mismo, o en caso de adición o eliminación de estaciones activas. La capa 7 o capa de aplicación define las funciones de aplicación.

Profibus DP:

- Usa las capas 1 y 2 y el interfaces de usuario, mientras que no define de las capas 3 a 7.
- Asegura una transmisión de datos rápida y eficiente.
- El DDLM proporciona al interfaces de usuario un

fácil acceso a la capa 2.

- Las funciones de aplicación disponibles por el usuario así como el comportamiento del sistema se especifican en el interfaces de usuario.
- Se permite una comunicación RS-485 o por fibra óptica.

Profibus FMS:

- Define las capas 1, 2 y 7.
- La capa de aplicación está formada por las subcapas FMS
- FMS contiene el protocolo de aplicación y proporciona al usuario una amplia Selección de potentes servicios de comunicación.
- LLI implementa varias relaciones de comunicación y proporciona a FMS un Acceso independiente a la capa 2.
- La capa 2 (capa de unión de datos) ofrece el control de acceso al bus y Garantiza la seguridad de los datos

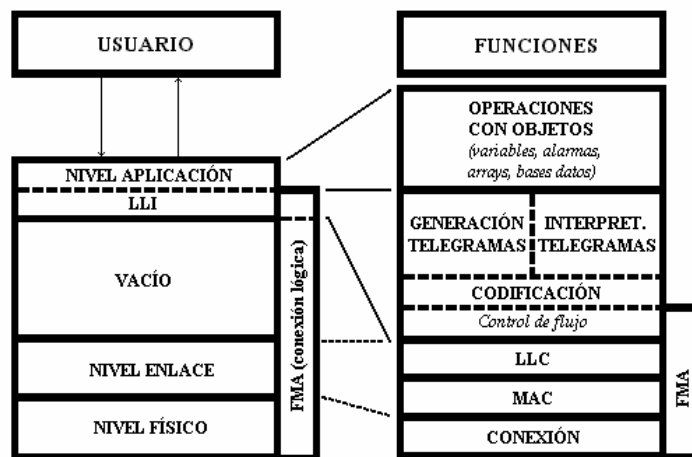
Profibus PA:

- Utiliza el protocolo DP extendido para la transmisión de datos.
- Usa un indicador que define el comportamiento de los dispositivos de Campo.
- La tecnología de transmisión permite un alto grado de seguridad y deja que Los elementos de campo sean conectados al bus.
- Pueden ser integrados de una forma fácil en redes de trabajo PROFIBUS DP.

El protocolo profibus establece las reglas de comunicación desde el nivel de enlace hasta el nivel de aplicación. En una estructura de bus basada sólo en tres niveles (1, 2 y 7 del modelo OSI) y que desea integrar en redes de rango superior que utilizan el modelo OSI completo, se precisa una adaptación entre los niveles 2 y 7. Esta adaptación se hace mediante la anteriormente citada

subcapa LLI (subcapa del nivel 7), mediante el enlace con los servicios de los niveles inferiores mediante una interfaces de protocolo conocida como FMA.

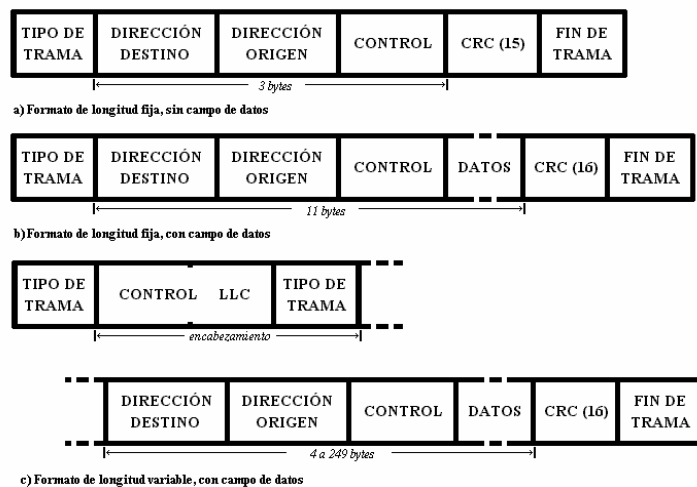
Figura 13. Organización de protocolo basado en tres niveles



La trama de datos de profibus

La trama admite 3 tipos de tramas de longitud fija sin datos, tramas de longitud fija con datos y tramas de longitud variable

Figura 14. Distintos formatos de trama



La interpretación de dichas tramas es algo compleja debido a la variedad de tipos previstos para dar servicios a dispositivos con distinto nivel de complejidad, por lo que se centrará en explicarlas dentro de los mensajes básicos (cíclicos y acíclicos) que ofrece el protocolo a nivel de enlace.

Profibus-DP está diseñado para la comunicación de datos a alta velocidad a nivel de dispositivo. Los controladores centrales (PLCs/PCs) se comunican con los dispositivos de campo distribuidos por medio de un enlace serie de alta velocidad. La mayoría de las comunicaciones de datos con estos dispositivos periféricos es realizada de una forma cíclica según la norma EN 50 170. Además de las funciones cíclicas, se requieren otras de tipo acíclico para

dispositivos de campo inteligentes para permitir la configuración, diagnóstico y manejo de alarmas.

El controlador central (maestro) lee de forma cíclica la información procedente de los esclavos y escribe la información de salida en los esclavos. El tiempo de ciclo del bus debe ser más pequeño que el tiempo de ciclo del programa del PLC central (para la mayoría de aplicaciones es de 10 mseg.).

Además, profibus DP proporciona funciones poderosas para diagnósticos y configuración en las transmisiones de datos de usuario cíclicas. La comunicación de datos es monitorizada mediante la monitorización de las funciones tanto en el maestro como en el esclavo.

2.3 Instrumentos para medir presión

2.3.1 Presión manométrica

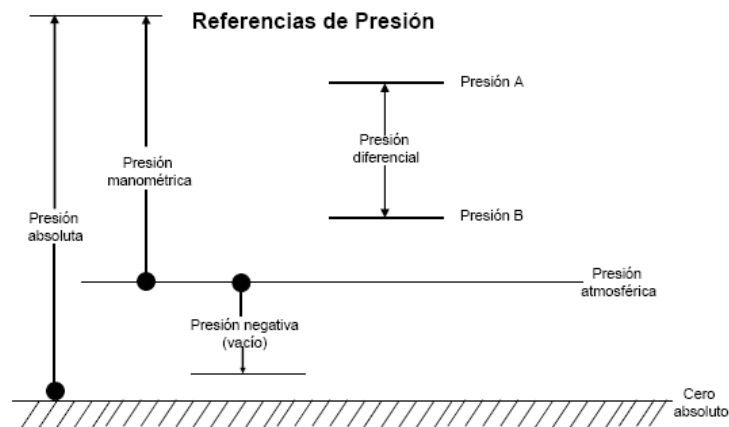
La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como kg/cm^2 , PSI (libras por pulgada cuadrada), bar., atmósferas y pascal. La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales.

Los fluidos son sustancias que presentan una gran movilidad entre sus partes, no tienen rigidez, ya que cambian de forma por efectos de fuerzas tangenciales pequeñas y esto se manifiesta por su capacidad de fluir, Los fluidos son líquidos o gases y únicamente resisten esfuerzos normales debido a la presión. Los líquidos son prácticamente incompresibles, mientras los gases

son altamente compresibles. Para su estudio en reposo, los líquidos y los gases generalmente deben encontrarse confinados adoptando la forma del recipiente que los contiene. Es así que su estudio se presenta en términos de densidad, peso específico, volumen y presión.

La presión de los fluidos puede ser absoluta o manométrica. En el primer caso, se tiene una presión referida a la presión cero en el vacío. La presión manométrica que se obtiene directamente de un manómetro, indica la diferencia entre la presión de un punto determinado del fluido y la presión atmosférica. tanto la presión absoluta (P_{abs}) como la presión manométrica (P_m) cambian linealmente con la profundidad (h) en los líquidos. Estas se relacionan así:

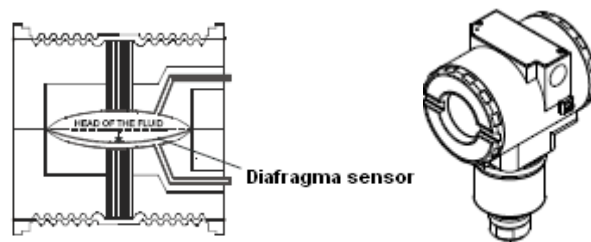
Figura 15. Medición de presión



Los instrumentos electrónicos utilizados para medir presión manométrica, presión absoluta o presión diferencial, son llamados: transmisores inteligentes. Son dispositivos electrónicos que se componen de una parte llamada: transductor, esta parte del equipo esta en contacto en todo momento con el proceso, y la parte electrónica que es la encargada de convertir la salida de

transductor, convertir esta señal en una señal digital para enviarla a un controlador o registrador electrónico.

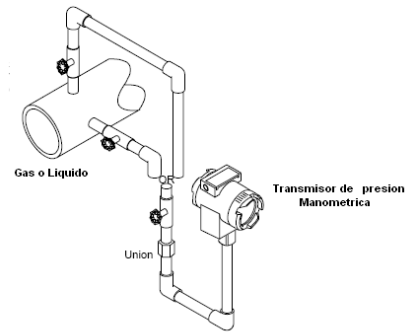
Figura 16. Sensor del transmisor



Los transmisores de presión se dividen en las siguientes categorías: presión manométrica, presión diferencial, o presión absoluta

La instalación mecánica de los transmisores es importante para el buen funcionamiento del equipo. Una instalación incorrecta o defectuosa tendrá consecuencia en erróneas mediciones de la variable a medir. Se recomienda realizar instalaciones mecánicas esto es para medir presión manométrica (PSIG).

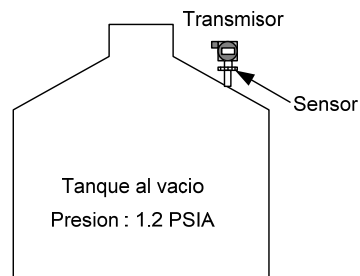
Figura 17. Instalación mecánica para medición de presión manométrica



2.3.2 Presión absoluta

Los transmisores para medición de presión absoluta, la instalación mecánica es similar a la instalación de los transmisores de presión manométrica. Únicamente debe realizar una conexión mecánica de la parte del sensor hasta el punto donde se requiere realizar la medición. Comúnmente la presión absoluta muchas veces es costumbre encontrar unidades de medida en pulgadas de mercurio.

Figura 18. Instalación mecánica transmisor de presión absoluta

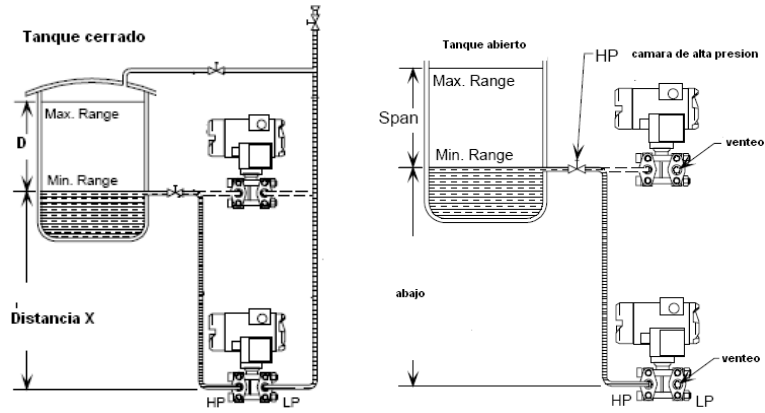


2.3.3 Presión diferencial

Los transmisores de presión diferencial son utilizados para medir una segunda variable de medida que no es la presión. Por ejemplo: son utilizados para nivel físico en un tanque, flujo volumétrico de un fluido en una tubería, densidad de un líquido. Para medir el nivel en un tanque que contiene un líquido existen algunas limitaciones o consideraciones que se deben de realizar para poder medir correctamente. El líquido a medir deberá ser de una densidad constante o bien de una densidad no muy variable significativamente. Esto es debido a que si la densidad varía, entonces la presión de la columna hidrostática que ejerce sobre el transmisor varía también. Por lo tanto la primera restricción para medir nivel con un transmisor de presión diferencial es: densidad constante.

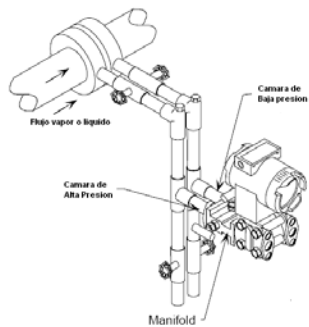
Cuando se requiere medir el nivel de un tanque también se debe considerar si el tanque es del tipo cerrado herméticamente o bien es abierto. Cuando el tanque es de tipo abierto, esto significa que en la parte superior del líquido contenido en el tanque, está a la presión atmosférica. Cuando el tanque es cerrado la parte superior del líquido contenido en el tanque, está a una presión diferente de la presión atmosférica. Una vez definido si el tanque es abierto o cerrado. Se escoge el tipo de instalación mecánica que corresponde a tanque abierto o a tanque cerrado.

Figura 19. Instalación mecánica para un tanque cerrado y abierto



Un transmisor de presión diferencial puede ser utilizado para medir el flujo de un líquido o bien un gas.

Figura 20. Instalación mecánica para medición de flujo



2.4 Sensores de temperatura

Cada proceso en la industria debe ser controlado de alguna manera, y esta necesidad, con frecuencia, incluye la medición de temperaturas. Se dispone de una gran variedad de sensores de temperatura para llevar a cabo esta tarea.

Con el fin de seleccionar el mejor sensor para una aplicación dada se deben considerar varios factores, como ser rangos de temperatura, exactitud, velocidad de respuesta, costo y requerimiento de mantenimiento. Estos factores serán analizados a continuación en relación a aquellos dispositivos de uso más común en la industria de proceso termocuplas, termo resistencias, termistores, sistemas de dilatación y pirómetros de radiación u ópticos. Se listan los rangos de temperatura medidos normalmente mediante sensores estándar. Estos rangos no representan los extremos alcanzables, sino los límites que pueden medirse con los dispositivos disponibles, por lo general, en el mercado y que son suministrados por la mayoría de los fabricantes. Se pueden medir mayores y menores temperaturas, pero generalmente con una menor exactitud y a un mayor costo.

2.4.1 Termocuplas

Una termocupla consiste de un par de conductores de diferentes metales o aleaciones (termopar o termo elementos). Uno de los extremos, la junta de medición, está colocado en el lugar donde se ha de medir la temperatura. Los dos conductores (termo elementos) salen del área de medición y terminan en el otro extremo, la junta de referencia. Se produce entonces una fuerza electromotriz (fem) que es función de la diferencia de temperatura entre las dos juntas.

Figura 21. Termocupla

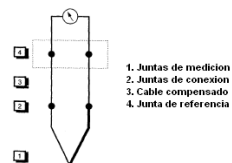


Figura 22. Clasificación de termocoplas

Termopares	Rango	Clase 1 Desviación máxima (±) ⁽¹⁾
Tipo T, Cobre vs. cobre - níquel	- 40 a + 350°C	0,5 °C ó 0,004 (t) °C
Tipo J, Hierro vs. cobre - níquel	- 40 a + 750°C	1,5 °C ó 0,004 (t) °C
Tipo K, Níquel - cromo vs. níquel	- 40 a + 1.000°C	1,5 °C ó 0,004 (t) °C
Tipo R, Platino - rodio 13% vs. platino	0 a + 1.600°C	1 °C ó 1 + 0,003 (t - 1.100) °C
Tipo S, Platino - rodio 10% vs. platino	0 a + 1.600°C	1 °C ó 1 + 0,003 (t - 1.100) °C
Tipo B, Platino - rodio 30% vs. platino - rodio 6%	_____	_____
Termopares	Rango	Clase 2 Desviación máxima (±) ⁽¹⁾
Tipo T, Cobre vs. cobre - níquel	- 40 a + 350°C	1 °C ó 0,0075 (t) °C
Tipo J, Hierro vs. cobre - níquel	- 40 a + 750°C	2,5 °C ó 0,0075 (t) °C
Tipo K, Níquel - cromo vs. níquel	- 40 a + 1.200°C	2,5 °C ó 0,0075 (t) °C
Tipo R, Platino - rodio 13% vs. platino	0 a + 1.600°C	1,5 °C ó 0,0025 (t) °C
Tipo S, Platino - rodio 10% vs. platino	0 a + 1.600°C	1,5 °C ó 0,0025 (t) °C
Tipo B, Platino - rodio 30% vs. platino - rodio 6%	+ 600 a 1.700°C	1,5 °C ó 0,0025 (t) °C
Termopares	Rango	Clase 3 ⁽²⁾ Desviación máxima (±) ⁽¹⁾
Tipo T, Cobre vs. cobre - níquel	- 200 a + 40°C	1 °C ó 0,015 (t) °C
Tipo J, Hierro vs. cobre - níquel	- 200 a + 40°C	2,5 °C ó 0,015 (t) °C
Tipo K, Níquel - cromo vs. níquel	- 200 a + 40°C	2,5 °C ó 0,015 (t) °C
Tipo R, Platino - rodio 13% vs. platino	_____	_____
Tipo S, Platino - rodio 10% vs. platino	_____	_____
Tipo B, Platino - rodio 30% vs. platino - rodio 6%	+ 600 a 1.700°C	4 °C ó 0,005 (t) °C

2.4.2 Termo resistencias

La variación de la resistencia eléctrica de los metales es frecuentemente utilizada para la medición de temperaturas. La resistencia eléctrica aumenta con el crecimiento de la temperatura y entonces se habla de coeficiente de temperatura positivo PTC. Esto, por ejemplo, con las termo resistencias de platino. Para poder utilizar este efecto en la medición de temperatura, además, la resistencia eléctrica debe variar de manera reproducible en función de la temperatura. Por otra parte, las características del metal no deben modificarse durante el tiempo de empleo de ese metal como sensor para no introducir

errores en la medición. El coeficiente debe ser lo más independiente posible de los efectos de la temperatura, presión y ataque químico.

El platino se estableció como el material resistivo más apropiado en la instrumentación industrial por sus características físicas y eléctricas. Estas ventajas incluyen alta resistencia química, relativa facilidad para procesarlo como alambre, posibilidad de producirlo con altos grados de pureza y la virtud de reproducir siempre sus características eléctricas. Estas propiedades están definidas en la norma IEC 751, de manera de asegurar universalmente la inter cambiabilidad. Esta norma establece las relaciones entre valores de resistencia eléctrica y temperatura y sus tolerancias, también define los rangos de temperatura para cada caso. Los cálculos analíticos distinguen dos rangos -200 a 0 °C y 0 a 850 °C. El rango de -200 a 0 °C está definido por el siguiente polinomio de tercer orden:

$$R_{(t)} = R_0 (1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C [t - 1 - 100^\circ\text{C}] \cdot t^3)$$

El segundo polinomio se aplica al rango de 0 a 850 °C:

$$R_{(t)} = R_0 (1 + A \cdot t + B \cdot t^2)$$

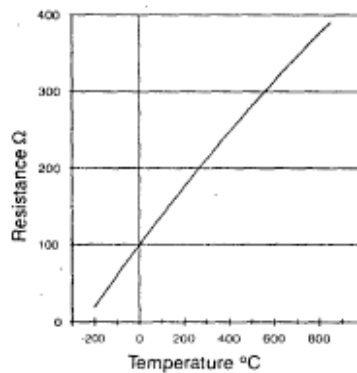
Los coeficientes tienen los siguientes valores:

$$\begin{aligned} A &= 3.9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \\ B &= -5.775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2} \\ C &= -4.183 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3} \end{aligned}$$

El término R^* es el referido al valor nominal y representa el valor de resistencia a $0 \text{ } ^\circ\text{C}$. De acuerdo a la IEC 751 el valor nominal es $100,000 \text{ } \Omega$. Por esa razón, nosotros hablamos de sensores de termo resistencia Pt 100. Se dispone también de sensores de termo resistencia con valores nominales de 500 y $1000 \text{ } \Omega$. Su ventaja es una mayor sensibilidad (mayor variación de resistencia con la temperatura) La variación de resistencia en el rango de temperatura hasta $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ es aproximadamente.

Figura 23. Curva carcateristica de Pt100

$0,4\Omega/^\circ\text{C}$ para sensores de termorresistencia Pt 100
 $2.0\Omega/^\circ\text{C}$ para sensores de termorresistencia Pt 500
 $4.0\Omega/^\circ\text{C}$ para sensores de termorresistencia Pt 1000



2.5 Medidores de flujo

Existen varios métodos para medir caudal, entre los más comunes se encuentran

- Medidores de caudal usando tubos venturi
- Medidores de caudal usando placas de orificio
- Medidores de caudal usando toberas
- Medidores de caudal usando principios electromagnéticos.
- Medidores de caudal usando principios ultrasónicos

2.5.1 Tubo de Venturi

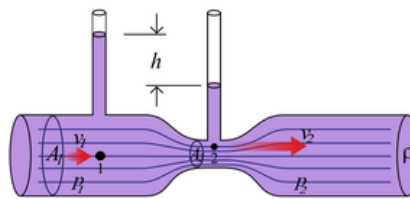
El tubo de Venturi es un dispositivo que origina una pérdida de presión al pasar por él un fluido. En esencia, éste es una tubería corta recta, o garganta, entre dos tramos cónicos. La presión varía en la proximidad de la sección estrecha; así, al colocar un manómetro o instrumento registrador en la garganta se puede medir la caída de presión y calcular el caudal instantáneo, o bien, uniéndola a un depósito carburante, se puede introducir este combustible en la corriente principal.

Las dimensiones del tubo de Venturi para medición de caudales, tal como las estableció Clemens Herschel, son por lo general las que indica la figura 1. La entrada es una tubería corta recta del mismo diámetro que la tubería a la cual va unida.

El cono de entrada, que forma el ángulo a_1 , conduce por una curva suave a la garganta de diámetro d_1 . Un largo cono divergente, que tiene un ángulo a_2 , restaura la presión y hace expandir el fluido al pleno diámetro de la tubería.

El diámetro de la garganta varía desde un tercio a tres cuartos del diámetro de la tubería.

Figura 24. Tubo Venturi



La presión que precede al cono de entrada se transmite a través de múltiples aberturas a una abertura anular llamada anillo piezométrico. De modo análogo, la presión en la garganta se transmite a otro anillo piezométrico. Una sola línea de presión sale de cada anillo y se conecta con un manómetro o registrador. En algunos diseños los anillos piezométricos se sustituyen por sencillas uniones de presión que conducen a la tubería de entrada y a la garganta.

La principal ventaja del Venturi estriba en que sólo pierde un 10 - 20% de la diferencia de presión entre la entrada y la garganta. Esto se consigue por el cono divergente que desacelera la corriente. Es importante conocer la relación que existe entre los distintos diámetros que tiene el tubo, ya que dependiendo de los mismos es que se va a obtener la presión deseada a la entrada y a la salida del mismo para que pueda cumplir la función para la cual está construido. Esta relación de diámetros y distancias es la base para realizar los cálculos para la construcción de un Tubo de Venturi y con los conocimientos del caudal

que se desee pasar por él. Deduciendo se puede decir que un tubo de Venturi típico consta, como ya se dijo anteriormente, de una admisión cilíndrica, un cono convergente, una garganta y un cono divergente. La entrada convergente tiene un ángulo incluido de alrededor de 21°, y el cono divergente de 7° a 8°. La finalidad del cono divergente es reducir la pérdida global de presión en el medidor; su eliminación no tendrá efecto sobre el coeficiente de descarga. La presión se detecta a través de una serie de agujeros en la admisión y la garganta; estos agujeros conducen a una cámara angular, y las dos cámaras están conectadas a un sensor de diferencial de presión.

En el tubo de Venturi, el flujo desde la tubería principal en la sección 1 se hace acelerar a través de la sección angosta llamada garganta, donde disminuye la presión del fluido. Después se expande el flujo a través de la porción divergente al mismo diámetro que la tubería principal. En la pared de la tubería en la sección 1 y en la pared de la garganta, a la cual se llamó sección 2, se encuentran ubicados ramificadores de presión. Estos se encuentran unidos a los dos lados de un manómetro diferencial de tal forma que la deflexión h es una indicación de la diferencia de presión $p_1 - p_2$. Por supuesto, pueden utilizarse otros tipos de medidores de presión diferencial.

La ecuación de la energía y la ecuación de continuidad pueden utilizarse para derivar la relación a través de la cual se puede calcular la velocidad del flujo. Utilizando las secciones 1 y 2 en la fórmula 2 como puntos de referencia, se puede escribir las siguientes ecuaciones:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1)$$

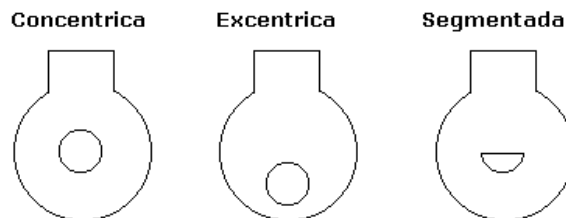
$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2)$$

2.5.2 Placa orificio

Cuando dicha placa se coloca en forma concéntrica dentro de una tubería, esta provoca que el flujo se contraiga de repente conforme se aproxima al orificio y después se expande de repente al diámetro total de la tubería. La corriente que fluye a través del orificio forma una vena contracta y la rápida velocidad del flujo resulta en una disminución de presión hacia abajo desde el orificio.

El valor real del coeficiente de descarga C depende de la ubicación de las ramificaciones de presión, igualmente es afectado por las variaciones en la geometría de la orilla del orificio. El valor de C es mucho más bajo que el del tubo venturi o la boquilla de flujo puesto que el fluido se fuerza a realizar una contracción repentina seguida de una expansión repentina.

Figura 25. Algunos tipos de placas orificios son los siguientes



La concéntrica sirve para líquidos, la excéntrica para los gases donde los cambios de presión implican condensación, cuando los fluidos contienen un alto porcentaje de gases disueltos. La gran ventaja de la placa de orificio en comparación con los otros elementos primarios de medición, es que debido a la pequeña cantidad de material y al tiempo relativamente corto de maquinado que se requiere en su manufactura, su costo llega a ser comparativamente bajo, aparte de que es fácilmente reproducible, fácil de instalar y desmontar y de que se consigue con ella un alto grado de exactitud. Además que no retiene muchas partículas suspendidas en el fluido dentro del orificio. El uso de la placa de orificio es inadecuado en la medición de fluidos con sólidos en suspensión pues estas partículas se pueden acumular en la entrada de la placa, el comportamiento en su uso con fluidos viscosos es errático pues la placa se calcula para una temperatura y una viscosidad dada y produce las mayores pérdidas de presión en comparación con los otros elementos primarios.

Las mayores desventajas de este medidor son su capacidad limitada y la pérdida de carga ocasionada tanto por los residuos del fluido como por las pérdidas de energía que se producen cuando se forman vórtices a la salida del orificio.

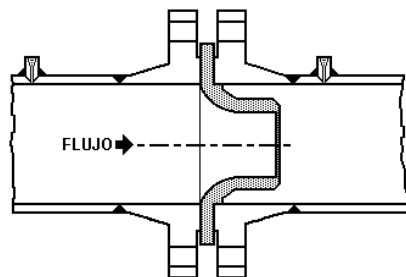
2.5.3 Boquilla o tobera de flujo

Es una contracción gradual de la corriente de flujo seguida de una sección cilíndrica recta y corta. Debido a la contracción pareja y gradual, existe una pérdida muy pequeña. A grandes valores de Reynolds (10^6) C es superior a 0.99.

La tobera de flujo es un instrumento de medición que permite medir diferencial de presiones cuando la relación de β , es demasiado alta para la placa orificio, esto es, cuando la velocidad del flujo es mucho mayor y las pérdidas empiezan a hacerse notorias.

Luego, al instalar un medidor de este tipo se logran mediciones mucho más exactas. Además este tipo de medidor es útil para fluidos con muchas partículas en suspensión o sedimentos, su forma hidrodinámica evita que sedimentos transportados por el fluido queden adheridos a la tobera.

Figura 26. Tobera



La instalación de este medidor requiere que la tubería donde se vaya a medir caudal, este en línea recta sin importar la orientación que esta tenga.

Recuperación de la presión: la caída de presión es proporcional a la pérdida de energía. La cuidadosa alineación del tubo Venturi y a expansión gradual larga después de la garganta provoca un muy pequeño exceso de turbulencia en la corriente de flujo. Por lo tanto, la pérdida de energía es baja y la recuperación de presión es alta. La falta de una expansión gradual provoca que la boquilla tenga una recuperación de presión más baja, mientras que la correspondiente al orificio es aún más baja. La mejor recuperación de presión se obtiene en el tubo de flujo.

2.6 Electromagnético

Su principio de medida está basado en la ley de Faraday, la cual expresa que al pasar un fluido conductor a través de un campo magnético se produce una fuerza electromagnética (FEM.), directamente proporcional a la velocidad del mismo, de donde se puede deducir también el caudal. Ver figura.

Figura 27. Medidor electromagnético



Está formado por un tubo, revestido interiormente con material aislante. Sobre dos puntos diametralmente opuestos de la superficie interna se colocan dos electrodos metálicos, entre los cuales se genera la señal eléctrica de medida. En la parte externa se colocan los dispositivos para generar el campo magnético, y todo se recubre de una protección externa, con diversos grados de seguridad.

El flujo completamente sin obstrucciones es una de las ventajas de este medidor. El fluido debe ser ligeramente conductor debido a que el medidor

opera bajo el principio de que cuando un conductor en movimiento corta un campo magnético, se induce un voltaje.

Los componentes principales incluyen un tubo con un material no conductor, dos bobinas electromagnéticas y dos electrodos, alejados uno del otro, montados a 180° en la pared del tubo. Los electrodos detectan el voltaje generado en el fluido. Puesto que el voltaje generado es directamente proporcional a la velocidad del fluido, una mayor velocidad de flujo genera un voltaje mayor. Su salida es completamente independiente de la temperatura, viscosidad, gravedad específica o turbulencia. Los tamaños existentes en el mercado van desde 5 mm hasta varios metros de diámetro.

2.7 Medidores de densidad

La densidad es una propiedad física de las sustancias de gran importancia en el análisis de situaciones de estática y dinámica de fluidos. De allí la importancia de contar con métodos y equipos o instrumentos que permitan determinar de forma rápida y precisa la densidad de un fluido. La densidad (ρ) es la masa de una unidad de volumen de sustancia y puede medirse en Kg./m^3 (SI) y en lbm/ft^3 (sistema inglés). El volumen específico (v) es el espacio o volumen que ocupa una unidad de masa de sustancia y puede medirse en $\text{m}^3/\text{Kg.}$ (SI) y en ft^3/lbm (sistema inglés). De las definiciones anteriores se deducen las siguientes relaciones:

$$v = \frac{V}{m} \quad \rho = \frac{m}{V} \quad \rho = \frac{1}{v}$$

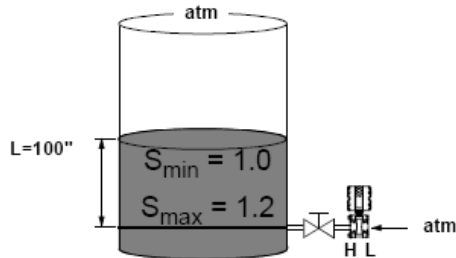
Un transmisor de presión diferencial de presión se utiliza a menudo para medir la densidad de un líquido. Ambos tipos de transmisores de nivel de medida basado en el principio de que (la presión P) es proporcional al nivel (L) del líquido multiplicado por su peso específico (S):

$$P = LS$$

Dado que la gravedad específica es la relación de la densidad de un líquido a la densidad del agua, cualquier cambio en la densidad se traducirá en un cambio en la presión. Por ejemplo, si la altura del líquido es de 100 pulgadas y los cambios de peso específico 0,9 a 1,3, los cambios de presión de lectura correspondiente 90 a 130 inH₂O. Puesto que la densidad del agua es de 63,4 libras por pie cúbico, la densidad de un material con una gravedad específica de 0,9 es 57,1 kg/m³, y la densidad de un material con una gravedad específica de 1,3 es de 82,4 kg/m³. Así, la densidad de un material se puede determinar utilizando una variación de la medición de nivel básico. La siguiente información describe cómo medir la densidad de un material para diversas aplicaciones y constante nivel, utilizando las medidas de nivel básico.

Un ejemplo típico de aplicación para la medición de densidad en un proceso del tipo continuo y en las aplicaciones de tanque abierto, el nivel se puede medir con cualquier calibración o la presión diferencial (DP), transmisores, utilizando la hipótesis de que $P = LS$. Si el peso específico debe ser medido, entonces la ecuación puede ser modificada a $S = L / P$. Para que esto funcione el nivel debe mantenerse constante, por lo que cualquier cambio de presión de reflejar el cambio de gravedad específica. Esto funciona donde no existe un cambio de nivel en el tanque. La calibración a fijar en el instrumento serán los siguientes valores.

Figura 28. Tanque abierto



$$\begin{aligned} 4 \text{ mA} &= LS_{\min} \\ &= 100 \times 1.0 \\ &= 100 \text{ inH}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 20 \text{ mA} &= LS_{\max} \\ &= 100 \times 1.2 \\ &= 120 \text{ inH}_2\text{O} \end{aligned}$$

Calibración: LRV = 100 a URV = 120 inH₂O

2.8 Instrumentos para medir pH

La medición de pH es común en las industrias que usan agua. El pH adecuado de una solución puede asegurar la calidad de un producto, optimizar los resultados, aumentar la velocidad de la reacción o en términos generales, mejorar el proceso. Se puede medir el pH por varios métodos, papel indicador, electrodos de pH, tintes calorimétricos o titulación, pero los electrodos de vidrio para pH son el mejor método. pH es una medida de la actividad de los iones hidrógeno de una solución que define el grado de acidez o alcalinidad de la solución. Entonces el pH es la unidad de medida de la acidez como el kilo lo es para el peso. Acidez es un parámetro químico, es una concentración. Pero debido a la gran variedad de notaciones en las medidas relativas a la química y

a su naturaleza difícil de manejar, P.L. Sorensen, químico Danés quien desarrolló la escala de pH en 1909, definió el pH como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno misma que él mismo cambió posteriormente a “actividad de iones hidrógeno”.

$$\text{pH} = - \log a\text{H}^+$$

Esto permite escribir concentraciones como 0.0000001 molar de iones hidrógeno como pH 7. Medir el pH de una solución con una celda potenciométrica consiste en un electrodo de vidrio, sensible al pH, un electrodo de referencia y un voltímetro de alta impedancia de entrada. La señal de salida de la celda es sensible a la temperatura de acuerdo con la ecuación de Nernst de tal manera que la mayoría de los sistemas incluyen un sensor de temperatura. Walther Nernst fue quien primero dilucidó la teoría de las celdas galvánicas en 1889, que relaciona el voltaje de una celda con sus propiedades físicas y químicas. Para el pH esta es: $E = E_0 + 2.3 RT/F \log a \text{H}^+$ E es el voltaje de la celda, E_0 es el voltaje estándar de la celda, R es la constante gaseosa universal, F es la constante de Faraday y T es la temperatura en grados Kelvin. $2.3 RT/F$ es el número de Nernst o “pendiente”, y a 25°C es igual a 59.16 mV/pH.

Cuando se sumerge en una solución acuosa, un electrodo de pH de vidrio desarrolla un potencial de 59 mV por cada unidad de pH. La difusión de iones de litio hacia fuera de la membrana de vidrio, genera un potencial, selectivamente, con respecto a los iones hidrógeno en la solución. La generación de potencial ocurre como “cero” en un pH 7, con valores positivos de pH 0 a 7 y valores negativos entre pH 7 a 14. El electrodo de referencia debe producir un potencial independiente de la solución medida y dar un contacto

eléctrico estable con la solución para cerrar el circuito de medición. Esto se logra construyendo una batería hecha de un alambre de plata metálica recubierta de cloruro de plata, puesto en un electrolito (solución) de cloruro de potasio que entra en contacto con la solución por medio de un “puente” salino, la “junta” líquida. Una junta líquida es un tapón poroso que restringe el flujo de electrolito hacia fuera de la referencia, manteniendo la batería a potencial constante al mismo tiempo que mantiene un contacto eléctrico a través de sus poros llenos de sal.

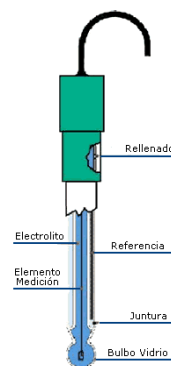
La mayoría de los electrodos de referencia de calidad industrial aprovechan la difusión del cloruro de potasio hacia fuera del sensor para hacer el contacto eléctrico. Difusión es la fuerza química que hace que una solución de concentración alta se mueva hacia una zona de baja concentración. Equivalente a la presión, la difusión empuja los iones de una región a otra. Mientras mayor sea la diferencia en la fuerza o concentración de los iones, más fuerte la fuerza de difusión.

Los iones potasio y los iones cloro tienen una movilidad ligeramente diferente, así que cuando se difunden a través de una junta líquida (membrana de vidrio porosa), ocurre una diferencial de carga eléctrica. La diferencial de carga es proporcional a la velocidad de difusión e inversamente proporcional al tamaño del poro de la junta líquida (membrana de vidrio). Se produce un potencial mayor con poros pequeños y velocidad de difusión alta. Por definición una diferencial de carga es un potencial y en este caso es el potencial de la junta líquida.

La calibración de un electrodo en solución buffer estándar da lugar a un potencial de junta. Si después se sumerge el electrodo en una solución con la misma fuerza iónica, 0.1 molar, el potencial de referencia será el mismo que el producido en la solución de calibración. El resultado es una lectura muy exacta. Cuando la fuerza iónica es diferente se produce un error. En algunas soluciones tales como agua ultra pura o salmuera el error puede ser entre 0.5 y 2 unidades de pH. Los electrodos de referencia con juntas muy porosas son buenos para minimizar los potenciales originados por la difusión y el corrimiento de la lectura causado por incrustaciones. Pero la alta porosidad tiende a agotar el cloruro de potasio en la referencia y el electrodo se muere.

La adecuada medición del pH mejora la calidad y eficiencia de un proceso. El trato inadecuado del electrodo siempre tiene consecuencias negativas.

Figura 29. Electrodo de pH



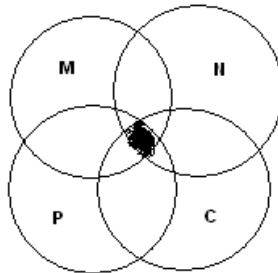
3. INTRODUCCIÓN AL ASEGURAMIENTO METROLÓGICO

3.1 Normas ISO 9000:2000

En la década de los 60's se comenzaron todos los movimientos de calidad que actualmente se tienen, claramente mejorados y los cuales, en su mayoría, se han venido basando en los que ese día se llamaban en la década de los 70's como el sistema integrado de calidad: metrología, normalización, pruebas y ensayos, aseguramientos de calidad "MNPC" y que hasta la fecha tiene la misma importancia y validez que cuando surgió.

Este sistema tiene como fin el manufacturar productos o bienes de servicios de calidad, considerando que si alguno de sus elementos falta, es imposible el obtener la calidad deseada ya que todos se complementan tal como se presentan en los diagramas de Benn; las normas, por ejemplo, permiten la intercambiabilidad de piezas, facilitan la producción y el intercambio comercial, además de ayudar a aumentar la productividad dando los parámetros adecuados y normalmente utilizados para aplicaciones en procesos; las pruebas y ensayos permiten conocer los materiales y elementos naturales o sintéticos detalladamente, para poder obtener la aplicabilidad de estos bajo los mínimos riesgos y al mejor costo posible; el aseguramiento de calidad proporciona la confianza de requisitos de calidad establecidas, a través de acciones planificadas y sistemáticamente necesarias; la metrología por su parte, brinda la posibilidad de obtener resultados confiables cuando se ejecutan mediciones, sean estas en proceso en inspección o en los laboratorios de calidad.

Figura 30. Diagrama de Benn



La palabra metrología viene del griego metron, y logos que significan respectivamente medida y tratado, se define como: “El campo de los conocimientos relativos a las medidas, a los sistemas y a las unidades de medida”, o más corrientemente “la ciencia de las mediciones”. Esta se divide a su vez en tres ramas: metrología legal, metrología industrial y metrología científica. La metrología industrial es la que ocupa primordialmente en este trabajo, ya que proporciona a la industria una base técnica de precisión adecuada a sus reales necesidades a fin de poder verificar y calibrar sus instrumentos de medida y control, que como se plantea en los conceptos fundamentales de la norma ISO 9000 numeral 4, de los objetivos : “La confianza es prioritaria y solo con datos confiables se puede brindar esa confianza de calidad en un producto” y como Deming expresó : “solo en Dios confiamos, todos los demás deben usar datos”. Queda claro que los datos con los que se trabaje deberán ser confiables y para ellos es indispensable que también los instrumentos y equipos de medición, de donde proviene dichos datos, tengan la validez y confianza que se logra a través de la metrología. Aunque cuando se habla de calidad de un producto o servicio, se pueden dar dos clases de mediciones: Una objetiva que es la que se relaciona con la metrología como el tiempo de vida de un bombillo, el diámetro de una esfera etc. Y la otra subjetiva como bueno, malo, claro, oscuro, etc. Estas deberán al final evaluarse

conjuntamente, ya sea objetivo o subjetiva deberán tener el valor más cercano a la realidad, con el fin de obtener los resultados planeados.

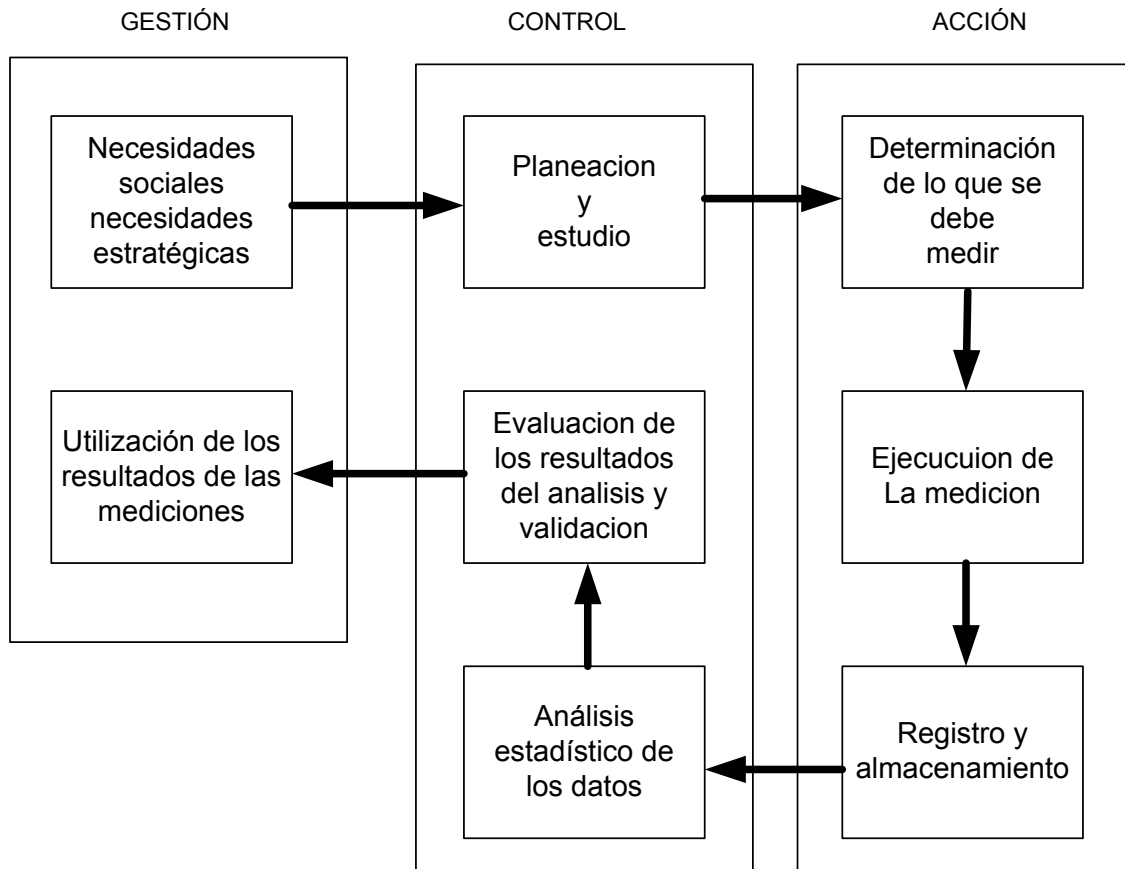
El aseguramiento metrológico como subsistema del sistema de calidad. En todo sistema de calidad, ya sea este desarrollado como control total de calidad, Kaizen, justo a tiempo, gestillo total de la calidad. El siguiente proceso es el cliente, control de calidad a lo ancho de la empresa, etc.; se hace necesario el cumplir con requisitos metrológicos ya sea desde el punto de vista de producción, mantenimiento, calidad o el cliente. Es por ellos que dentro del sistema de calidad las normas ISO 9000 establecen que; no recomienda alguno de los anteriores, sino más bien lo mínimo que estos deben desarrollar y como parte importante del sistema se plantea el aseguramiento metrológica como un subsistema dentro del contexto general a cumplir, ya que dedica una cláusula directamente y una norma específica la ISO 10 012-1

A si pues con base a la definición de aseguramiento de la calidad, se puede definir el aseguramiento metrológico como: “Todas aquellas acciones planificadas y sistemáticamente necesarias para proporcionar la confianza adecuada de que un instrumento o equipo de medición cumplirá con los requisitos metrológicos establecidos”.

Para poder desarrollar el aseguramiento metrológico a través de su definición, Hiroshi Llano, establece un sistema a cumplir con la finalidad de establecer un proceso dentro del cual se den las actividades necesarias para que el resultado obtenido de una medición sea el esperado.

Llano establece tres subsistemas en un sistema de aseguramiento metrológico: gestión, control y acción y cada uno de estos engloba un número de actividades a desarrollar tal como se presenta en la forma siguiente:

Figura 31. Sistema de aseguramiento metrológico



En este sistema provee una forma dentro de la cual se puede determinar cuáles medidas están siendo o no conducidas apropiadamente.

Las mediciones son un tipo de servicio: estas no son desarrolladas para sí mismas, pero suministran datos para otros propósitos. El significado de la medición y sus resultados se extienden a través de la gestión corporativa a las sociedad como un todo. Nótese que la acción de medir no sólo consiste en desarrollar la medición, depende de cómo esta se planifica, de cómo los datos son analizados y son evaluados.

Se puede decir que a través de la gestión se obtiene la información necesaria para la ejecución de la medición y además aporta decisiones a través de los resultados; el control planifica, evalúa, analiza y valida la información requerida y obtenida; y la acción determina, realiza y registra lo que se mide o ha de medir.

El aseguramiento metrológico y las Normas ISO 9000:2000 Control de los dispositivos de seguimiento y de medición. La organización debe determinar el seguimiento y la medición a realizar, y los dispositivos de medición y seguimiento necesarios para proporcionar la evidencia de la conformidad del producto con los requisitos determinados. La organización debe establecer procesos para asegurarse de que el seguimiento y medición pueden realizarse y se realizan de una manera coherente con los requisitos de seguimiento y medición.

Cuando sea necesario asegurarse de la validez de los resultados, el equipo de medición debe:

- Calibrarse o verificarse en intervalos especificados o antes de su utilización, comparado con patrones de medición trazables a patrones de medición nacional o internacional; cuando no existan tales patrones debe registrarse la base utilizada para la calibración o la verificación.
- Ajustarse o reajustarse según sea necesario.
- Identificarse para poder determinar el estado de calibración.
- Protegerse contra ajustes que pudieran invalidar el resultado de la medición.
- Protegerse contra los daños y el deterioro durante la manipulación, el mantenimiento y el almacenamiento.

Además, la organización debe evaluar y registrar la validez de los resultados de las mediciones anteriores cuando se detecte que el equipo no está conforme con los requisitos. La organización debe tomar las acciones apropiadas sobre el equipo y sobre cualquier producto afectado. Deben mantenerse registros de los resultados de la calibración y verificación.

Debe confirmarse la capacidad de los programas informáticos para satisfacer su aplicación prevista, cuando estos se utilicen en las actividades de seguimiento y medición de los requisitos especificados. Esto debe llevarse a cabo antes de iniciar su utilización y confirmarse de nuevo cuando sea necesario.

3.2 Requisitos del equipo de medición según la norma ISO 10012-1

Esta norma que es un apoyo de las normas ISO 9000 está escrita en el contexto de un comprador y un proveedor y puede servir de referencia cuando: un comprador desea las especificaciones de los productos o servicios, o cuando un vendedor ofrece las especificaciones de los productos o servicios; así como cuando los organismos gubernamentales los dictaminen, y lo más importante, para cuando se auditan laboratorios. Esta también proporciona: requerimientos y lineamientos. Y aunque se presenta en 18 numerales, los requisitos básicos, estos desde el punto de vista metrológico no son tratados profundamente, mas bien son presentados con la finalidad de tener parámetros medibles dentro del sistema e calidad para poder tener control sobre el equipo de medición.

Una breve descripción de los 18 numerales de la parte 4 “requerimientos” se presenta a continuación.

- Generales: el proveedor deberá documentar los métodos utilizados para la implementación de esta parte de la norma, y deberán ser parte integral del sistema de calidad; con la finalidad de que cuando le sea solicitada, los presente sin retraso alguno, de acuerdo con las necesidades.
- Equipo de medición: el equipo deberá cumplir con las características metrológicas de acuerdo para cada aplicación ejemplo: exactitud, estabilidad, rango y resolución.
- Sistema de confirmación: el proveedor deberá establecer y mantener un efectivo sistema de documentación para el manejo, confirmación y uso de los equipos con los datos más importantes para su registro.
- Auditorías periódicas y revisión del sistema de confirmación: el proveedor deberá auditarse periódica y sistemáticamente, con la finalidad de asegurarse del cumplimiento de la norma.
- Planificación: el proveedor deberá revisar todos los requisitos solicitados por el comprador, para asegurarse de que el equipo es para la aplicación que se requiere
- Incertidumbre de la medición: el proveedor deberá considera toda la incertidumbre en la medición o por lo menos la fuente de incertidumbre con la finalidad de que el comprador la tome en cuenta en sus mediciones.
- Procedimiento documentación de confirmación: el proveedor deberá asegurarse de que cada procesamiento utilizado es adecuado para su propósito.
- Registro: el proveedor deberá mantener registro de lo producido, tipo y número de seria de todos los equipos de medición relevantes.
- Equipo de medición no conforme este deberá ser removido de los lugares de servicio, por separación o marcado.

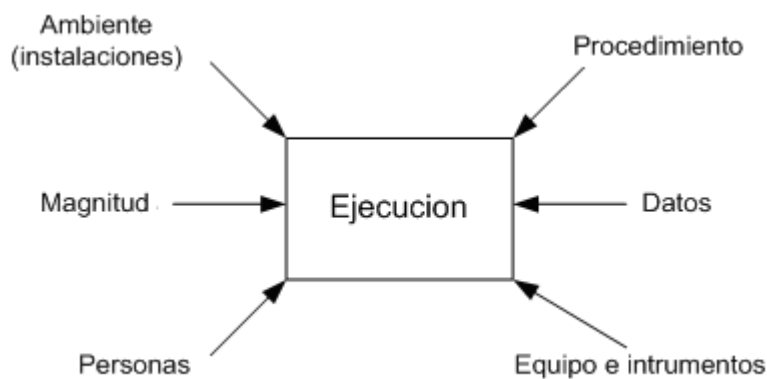
- Etiquetado de confirmación: el proveedor deberá asegurarse si el equipo está seguramente etiquetado, codificado o identificado para confirmar su estado.
- Intervalos de confirmación: el equipo de medición debe ser confirmado a intervalos apropiados de tiempo, establecidos por su estabilidad, propósitos y uso.
- Sellado para la integridad: los accesos al equipo que puedan variar su desempeño deberán sellarse para salvaguardar su estado de confirmación.
- Trazabilidad: todo equipo de medición deberá ser calibrado utilizando patrones e medición de trazabilidad reconocida.
- Efecto acumulativo de la incertidumbre: este efecto de incertidumbre a través de la cadena de calibración deberá ser tomado en cuenta para cada uno de los patrones de medición y del equipo que ha sido confirmado.
- Condiciones ambientales: las mediciones deberán ser realizadas en un ambiente controlado para asegurar la validez de los resultados.
- Personal: el proveedor deberá asegurar que todas las confirmaciones son desarrolladas por personas con calificación apropiada, entrenamiento y experiencia para cada tipo de trabajo.

Medición en la práctica:

La parte primordial en el aseguramiento metrológica es la ejecución de la medición y la cual se define como todas las aquellas actividades que están dirigidas a conseguir o determinar el valor de una magnitud, ya sean estas con la finalidad de conocer una cantidad o de comparar dicha magnitud con

el patrón de referencia. Esquemáticamente se puede representar de la siguiente manera:

Figura 32. Representación del proceso en la ejecución de una medición



Se denota que existen cuatro elementos básicos a considerar cuando ejecutamos una medición.

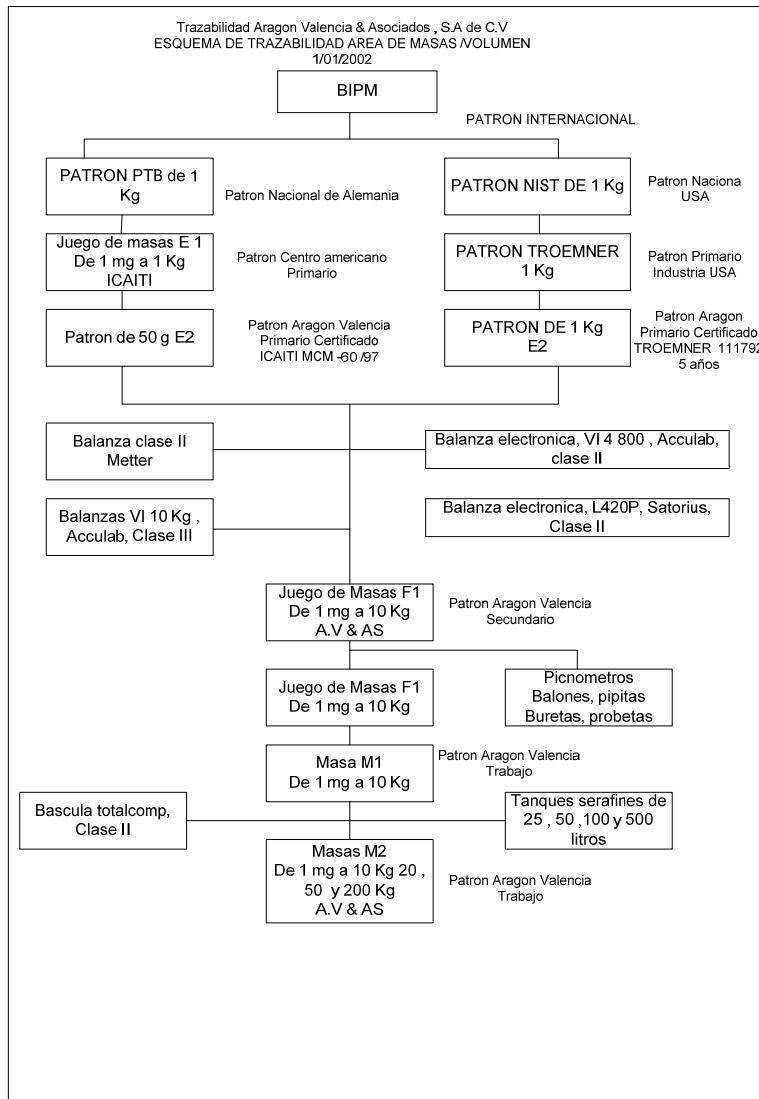
- Ambientes (instalaciones): este es influyente especialmente cuando se ejecutan mediciones de alta preciso, ya que parámetros tales como: temperatura y humedad relativa pueden hacer variar los resultados otros importantes factores ambientales que pueden afectar una medición según el tipo de medición que se realice son: la densidad del aire, la presión atmosférica, la altura sobre el nivel del mar, campos electromagnéticos, etc. Siendo todos ellos importantes. Esto se menciona como parámetros a tener en cuenta cuando se aplica cualquier norma metrologica, pero en especial cuándo se trata de laboratorios lo

plantea mas en detalle la organización internacional de metrología legal (OILM) en su publicación sobre planificación de laboratorios.

- Procedimiento, métodos y normas: cuando se del sistema integrado MNPC, se dice que ningún elemento puede faltar dentro del sistema y que todos son complementario, aquí esta la aplicación de ello. A través de procedimientos normalmente establecidos es posible el desarrollar mediciones “confiables” cuya repetitividad puede darse aquí como en cualquier otro lugar del mundo, obteniendo los mismos resultados a través de la utilización de normas o métodos reconocidos internacionalmente.
- Personas: de los cuatro elementos que existen en todo el proceso de medición, las personas se consideran uno de los factores más importantes, ya que debido a las misma características humanas, estas tienden a no tener una conciencia metrológica real, especialmente en los niveles jerárquicos altos de las estructuras organizativas e la empresa, creando, creando muchas veces una incultura metrológica que en la mayoría de los caso afecta grandemente los procesos de medición. Esta incluye desde la falta de responsabilidad al ejecutar una medición, hasta el mal manejo de los datos al evaluarlos. Calor esta que influyen aspectos educativos, sociales y reglamentos internos de calidad dentro de una empresa. Es importante recalcar este aspecto educativo pues esta planteado en las ISO 9000 como uno de los numerales y es aquí donde también e posible apoyarse en la publicación de OIML sobre entrenamiento en metrología.

- Equipos e instrumentos: cuando se habla de equipos de medición, sólo se viendo a la mente una palabra clave “trazabilidad” y la cual es definido según la norma ISO 8402/86, como la aptitud para establecer el historial, la utilización o la localización de un artículo o actividad, o de artículos o de actividades similares, mediante el uso de una identificación registrada. Esta definición, al tomarla en el sentido metrológico, se relaciona con propiedades constantes físicas básicas. La trazabilidad es el resultado del íntercomparación de un equipo o instrumento con patrones apropiada y generalmente reconocida, a través de la cual podemos conocer el error de un instrumento de medición, así como la incertidumbre de esta. La trazabilidad se puede comparar con un árbol genealógico. Una carta de trazabilidad se muestra a continuación.

Figura 33. Carta de trazabilidad del patrón de masa/volumen de Aragón Valencia



3.3 Metrología para área de balanzas y masas

Una de las magnitudes físicas fundamentales y más utilizadas es la unidad de masa. Desde los tiempos más remotos el hombre sintió la necesidad de medir la masa de los cuerpos, fundamentalmente con vistas a

las transacciones comerciales. La masa de un cuerpo es una magnitud que se caracteriza por:

- La fuerza que actúa sobre un cuerpo cuando este se encuentra en un campo gravitacional de intensidad de salida.
- La aceleración que adquiere un cuerpo cuando actúa sobre el una fuerza determinada.

El desarrollo de la técnica, las necesidades de predicción y del comercio han traído como consecuencia la creación de una gran diversidad de instrumentos de pesar, desde las balanzas de brazo iguales, hasta las básculas de pesada en movimiento. Se han perfeccionado innumerables sistemas de medición de masa, basándose fundamentalmente para su construcción, en la fuerza que sobre un cuerpo actúa, al encontrarse dentro del campo gravitacional.

La existencia de un laboratorio de masa equipado con los patrones y equipos auxiliares necesarios, mediante el cual se garantice la conservación y transmisión de la unida de medida, es tarea de vital importancia en el desarrollo del comercio y de la industria.

El esquema de trazabilidad es el documento que establece los medios, métodos y exactitud de la transmisión de los valores de la unidad de medida desde el patrón primario de la misma, hasta los instrumentos de medición de trabajo; aquí se especifican las funciones de cada uno de los patrones atendiendo a su exactitud. Los patrones no deben ser empleados para otros fines que no sean los establecidos en el esquema de trazabilidad.

Según el esquema de trazabilidad los medio se dividen el los siguientes grupos:

Laboratorio central: comprende el patrón nacional que es una medida de mas con valor nominal de 1 Kg , elaborado de acero inoxidable antimagnético, con clasificación E2 o F1 según la OIML. Los patrones secundarios y terciarios dados en miligramos, gramos y kilogramos, también deberán ser elaborados de acero inoxidable antimagnético y cuyos errores corresponden a los especificados por la recomendación internacional No 111 de la OIML para las clases correspondientes. El patrón primario tiene como única función conservar la unidad de masa y transmitirla a los patrones secundarios por el método de comparaciones en series cerradas o método de Richard, e el cual la medida de 1 kg certificada se compara con la sumatoria de hasta 1000grs formando la primera ecuación. A continuación se compara la medida de 500 g con la sumatoria de hasta 500 g (200+200+100) formando la segunda ecuación, y así sucesivamente se establecen tantas ecuaciones como medidas de masa tiene el juego que se calibra o contrasta. Resolviendo este sistema de ecuaciones se hallan las desviaciones del valor nominal de cada una de las medidas de masa secundarias. Con la medida de masa secundaria se calibras las medidas de masa terciaria y las medidas de referencia de clase F1 o F2 por el método de sustitución o por el método de Gauss. Para el primer caso se sustituye cada medida secundaria por la medida que se desea calibrar, ya sea la teórica o de referencia de igual valor nominal, determinándose el error para cada una de ellas.

El método de Gauss se emplea en balanzas de 2 brazos, con el fin de eliminar el error producido por la desigualdad de estos, se coloca la medida patrón secundaria en el plato izquierdo y la otra medida en el plato derecho tomándose la lectura correspondiente; a continuación se transponen de platos

las medidas y se toma la segunda lectura. La media geométrica de las dos indicaciones determina el error de la medida verificada.

Además de las medidas de masas primarias, secundarias y terciarias. En el laboratorio central están ubicadas las balanzas de calibración primaria con límite superior de pesada de 20 y 200 g; 2 y 20 Kg.

Servicios de verificación: se divide a su vez en equipos de laboratorio local y equipos de campo. Los equipos de laboratorio local, en este se encuentran las medidas de masa y balanzas de referencia y ensayo con las cuales se verifican las medidas de la clase F2 y M1 y los instrumentos de pesar de la clase II y III. Los equipos de campo se encuentran las medida de ensayo desde 1 mg hasta 20 Kg y las balanzas transportables para la verificación de masa de trabajo, así como para la verificación de basculas de la clase III y IV.

Servicios de calibración privados: estos se pueden encontrar patrones tanto de trabajo como primarios y secundarios, en algunos casos con niveles de clasificación E1 , F1 M1 ; con los cuales se puede desarrollar metrología industrial y científica, con fines puramente técnicos –Industriales.

3.4 Métodos de calibración y verificación de instrumentos de pesar electrónicos

Los instrumentos para pesar, según su funcionamiento se dividen en tres grupos: automáticos, semiautomáticos y no automáticos. La calibración y verificación de dichos instrumentos para uso comercial e industrial debe de realizarse en el lugar de uso del instrumento, no así para los instrumentos utilizados con fines científicos metrologicos. Para la calibración y verificación de

instrumentos para uso comercial e industria será necesario el traslado de los patrones, los cuales deben contar con condiciones creadas para su protección.

Regulaciones metrológicas para los instrumentos de pesar de funcionamiento automático.

Las regulaciones metrológicas para los instrumentos para pesar de funcionamiento no automático, están comprendidas en la recomendación internacional No 76 de la OIML, esto se realiza teniendo en cuenta los siguientes aspectos.

1. Instalación aspecto exterior y funcionamiento:

Se tomará en cuenta el estado externo del instrumento, si presenta huellas de golpes o roturas de algunas de sus partes, el estado del receptor de carga, la legibilidad de las escalas, la solidez de la base que lo soporta, la seguridad de la instalación y el nivel de burbuja.

Comprobación de la sensibilidad y linealidad con carga ascendente y descendente en varios puntos de medición. La sensibilidad del instrumento mecánico, para un valor dado de masa medida, se expresa por el cociente de la variación observada y la variación correspondiente.

2. De la masa medida y es la relación entre la variación de la respuesta de un instrumento de medida y la variación de la carga que la origina.

En los instrumentos de escala analógica se coloca una pequeña carga en el receptor en dependencia del valor de división del instrumento y se observa la respuesta del mismo, la cual debe corresponderse con la carga colocada.

En los instrumentos de escala digital, se define como el valor de división, a la diferencia entre dos indicaciones consecutivas, y el valor de división de verificación/calibración, se utiliza para clasificar el instrumento.

4. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN

4.1 El mensurando

El propósito de una medición es determinar el valor de una magnitud, llamada el mensurando, es el atributo sujeto a medición de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente. La definición del mensurando es vital para obtener buenos resultados de la medición. En ocasiones se mide algo distinto al propósito original. La imperfección natural de la realización de las mediciones, hace imposible conocer con certeza absoluta el valor verdadero de una magnitud: Toda medición lleva implícita una incertidumbre, es un parámetro que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al mensurando. Una definición completa del mensurando incluye especificaciones sobre las magnitudes de entrada relevantes.

El resultado de una medición incluye la mejor estimación del valor del mensurando y una estimación de la incertidumbre sobre ese valor. La incertidumbre se compone de contribuciones de diversas fuentes, algunas de ellas descritas por las magnitudes de entrada respectivas. Algunas contribuciones son inevitables por la definición del propio mensurando, mientras otras pueden depender del principio de medición, del método y del procedimiento seleccionados para la medición.

Por ejemplo, en la medición de la longitud de una barra, la temperatura es una magnitud de entrada que afecta directamente al mensurando por expansión o contracción térmica del material. Otra magnitud de entrada es la fuerza de contacto, presente cuando se usan instrumentos que requieren contacto mecánico como los tornillos micrométricos, calibradores vernier, etc.

También pueden influir en el resultado de la medición, y por lo tanto en la incertidumbre, algunos atributos no cuantificables en cuyo caso es siempre recomendable reducir en lo posible sus efectos, preferentemente haciendo uso de criterios de aceptación en las actividades tendientes a reducir tales efectos.

Por ejemplo: la limpieza de las masas es un aspecto crítico en la calibración de masas de alta exactitud, lo cual obliga a observar estrictamente criterios para limpiarlas apropiadamente.

El principio de medición es el fundamento científico usado para realizar una medición. El conocimiento del principio de medición permite al metrologo dominar la medición, esto es, modificarla, diseñar otra, evaluar su conveniencia, etc., además es indispensable para estimar la incertidumbre de la medición.

El método de medición y el procedimiento de medición son descripciones de la manera de llevar a cabo la medición, la primera genérica, la segunda específica.

El principio, el método y el procedimiento de medición son determinantes en el valor de la incertidumbre de la medición. Un conocimiento insuficiente de ellos muy probablemente conducirá a una estimación equivocada, o incompleta en el mejor de los casos, de la incertidumbre de la medición. Para la aplicación de este documento se supondrá que el principio, el método y el procedimiento han sido previamente determinados. La definición del mensurando usualmente alude, casi siempre de manera implícita, a una estimación de la incertidumbre que se requiere. Es notable el alto riesgo que se corre cuando la definición del mensurando no es acorde con la estimación de la incertidumbre requerida.

Por ejemplo, si se manifiesta al mensurando simplemente como el diámetro de una moneda de un peso, la incertidumbre requerida es mayor que cuando el mensurando se determina como el diámetro del círculo que circunscribe la moneda.

4.2 Modelo físico

Pretender estudiar el proceso de medición de manera exacta y completa está usualmente fuera de las actividades rutinarias del metrologo, más aún, es el propósito de la investigación científica, cuya solución pocas veces se vislumbra. Por lo tanto, es necesaria la simplificación del fenómeno o de la situación real conservando las características más relevantes para el propósito pretendido, mediante la construcción de un modelo para la medición. Un modelo físico de la medición consiste en el conjunto de suposiciones sobre el propio mensurando y las variables físicas o químicas relevantes para la medición. Estas suposiciones usualmente incluyen:

- Relaciones fenomenológicas entre variables.
- Consideraciones sobre la sustancia como homogeneidad e isotropía.

Una medición física, por simple que sea, tiene asociado un modelo que sólo aproxima el proceso real.

Por ejemplo, la medición de viscosidad con viscosímetros capilares usa un modelo que supone un capilar con longitud infinita, de diámetro constante y que la temperatura es absolutamente uniforme y constante en todos los puntos del viscosímetro.

4.3 Modelo matemático

El modelo físico se representa por un modelo descrito con lenguaje matemático. El modelo matemático supone aproximaciones originadas por la representación imperfecta o limitada de las relaciones entre las variables involucradas. Considerando a la medición como un proceso, se identifican magnitudes de entrada denotadas por el conjunto

$$\{X_i\}$$

Expresión en la cual el índice i toma valores entre 1 y el número de magnitudes de entrada

La relación entre las magnitudes de entrada y el mensurando Y como la magnitud de salida se representa como una función

$$Y = f(\{X_i\}) = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

Representada por una tabla de valores correspondientes, una gráfica o una ecuación, en cuyo caso y para los fines de este documento se hará referencia a una relación funcional. Por ejemplo, la viscosidad es proporcional al tiempo de flujo por un viscosímetro capilar como relación funcional, en contraste al desconocimiento de su relación funcional con la temperatura.

Aunque para el propósito de este trabajo se considerará Y como un escalar, puede aplicarse el mismo formalismo para elementos matemáticos más complejos como vectores o matrices.

El mejor estimado del valor del mensurando es el resultado de calcular el valor de la función f evaluada en el mejor estimado de cada magnitud de entrada,

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

4.4 Identificación de las fuentes de incertidumbre

Una vez determinados el mensurando, el principio, el método y el procedimiento de medición, se identifican las posibles fuentes de incertidumbre. Éstas provienen de los diversos factores involucrados en la medición, por ejemplo:

- Los resultados de la calibración del instrumento.
- la incertidumbre del patrón o del material de referencia.
- la repetibilidad de las lecturas.
- la reproducibilidad de las mediciones por cambio de observadores.

Las características del propio instrumento, como resolución, histéresis, deriva, etc.; variaciones de las condiciones ambientales; la definición del propio mensurando; el modelo particular de la medición; variaciones en las magnitudes de influencia. No es recomendable desechar alguna de las fuentes de incertidumbre por la suposición de que es poco significativa sin una cuantificación previa de su contribución, comparada con las demás, apoyadas en mediciones. Es preferible la inclusión de un exceso de fuentes que ignorar algunas entre las cuales pudiera descartarse alguna importante. No obstante, siempre estarán presentes efectos que la experiencia, conocimientos y actitud crítica del metrologo permitirán calificar como irrelevantes después de las debidas consideraciones. Por ejemplo, en la calibración de termómetros de mercurio en vidrio aparece una pequeña contribución de la temperatura ambiente, pero se considera despreciable aquella contribución debida a la radiación electromagnética en el ambiente.

4.5 Distribuciones de probabilidad

La cuantificación de una fuente de incertidumbre incluye la asignación de un valor y la determinación de la distribución a la cual se refiere este valor. Las distribuciones que aparecen más frecuentemente son:

- Distribución normal:

Los resultados de una medición repetida afectada por una o más magnitudes de influencia que varían aleatoriamente, generalmente siguen en buena aproximación una distribución normal. También la incertidumbre indicada en certificados de calibración se refiere generalmente a una distribución normal.

- Distribución rectangular :

En una distribución rectangular cada valor en un intervalo dado tiene la misma probabilidad, o sea la función de densidad de probabilidad es constante en este intervalo.

Ejemplos típicos son la resolución de un instrumento digital o la información técnica sobre tolerancias de un instrumento. En general, cuando exclusivamente hay conocimiento de los límites superior e inferior del intervalo de variabilidad de la magnitud de entrada, lo más conservador es suponer una distribución rectangular.

- Distribución triangular :

Si además del conocimiento de los límites superiores e inferior hay evidencia de que la probabilidad es más alta para valores en el centro del intervalo y se reduce hacia los límites, puede ser más adecuado basar la estimación de la incertidumbre en una distribución triangular.

Por ejemplo, en un baño termostático, que se utiliza para medir la densidad de un líquido, la temperatura puede tener una ligera deriva. Si se mide la temperatura antes y después de la medición de la densidad (resultando en T_1 y T_2), se puede suponer para el momento de la medición de la densidad una temperatura de $(T_1+T_2)/2$ con una distribución triangular entre T_1 y T_2 .

- Otras distribuciones :

Pueden encontrarse también distribuciones como la U, en la cual los extremos del intervalo presentan los valores con probabilidad máxima, típicamente cuando hay comportamientos oscilatorios subyacentes. También se encuentran distribuciones triangulares con el valor máximo en un extremo como en las asociadas a “errores de coseno”.

4.6 Reducción

Antes de comparar y combinar contribuciones de la incertidumbre que tienen distribuciones diferentes, es necesario representar los valores de las incertidumbres originales como incertidumbres estándar. Para ello se determina la desviación estándar de la distribución asignada a cada fuente.

Distribución normal :

La desviación estándar experimental de la media calculada a partir de los resultados de una medición repetida según la ec. (6.4) ya representa la incertidumbre estándar. Cuando se dispone de valores de una incertidumbre expandida U, como los presentados por ejemplo en certificados de calibración, se divide U entre el factor de cobertura k, obtenido ya sea directamente o a partir de un nivel de confianza dado.

$$u(x_i) = \frac{U}{k}$$

Distribución rectangular:

Si la magnitud de entrada Xi tiene una distribución rectangular con el límite superior a+ y el límite inferior a- , el mejor estimado para el valor de Xi está dado por:

$$x_i = \frac{a_+ + a_-}{2}$$

Una aplicación típica es la resolución de un instrumento digital. También la incertidumbre relacionada con el número finito de cifras significativas de datos tomados de la literatura puede ser tratada con esta distribución (siempre y cuando no haya indicios que la incertidumbre en realidad es mayor que la incertidumbre relacionada con la última cifra significativa). Si se aplica a la resolución o a datos tomados de la literatura, a corresponde al último dígito significativo o a la última cifra significativa respectivamente.

Distribución triangular:

Como en una distribución rectangular, para una magnitud de entrada X_i que tiene una distribución triangular con los límites a_+ y a_- , el mejor estimado para el valor de X_i está dado por:

$$x_i = \frac{a_+ + a_-}{2}$$

La incertidumbre estándar se calcula en este caso por:

$$u(x_i) = \frac{a_+ - a_-}{\sqrt{24}} = \frac{a/2}{\sqrt{6}}$$

4.7 Combinación

El resultado de la combinación de las contribuciones de todas las fuentes es la incertidumbre estándar combinada $u_c(y)$, la cual contiene toda la información esencial sobre la incertidumbre del mensurando Y . La contribución $u_i(y)$ de cada fuente a la incertidumbre combinada depende de la incertidumbre estándar $u(x_i)$ de la propia fuente y del impacto de la fuente sobre el mensurando. Es posible encontrar que una pequeña variación de alguna de las magnitudes de influencia tenga un impacto importante en el mensurando, y viceversa. Se determina $u_i(y)$ por el producto de $u(x_i)$ y su coeficiente de sensibilidad c_i (o factor de sensibilidad):

$$u_i(y) = c_i \cdot u(x_i)$$

4.8 Coeficiente de sensibilidad

El coeficiente de sensibilidad describe, qué tan sensible es el mensurando con respecto a variaciones de la magnitud de entrada correspondiente. Para su determinación existen dos métodos:

a) Determinación a partir de una relación funcional :

Si el modelo matemático para el mensurando $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ describe la influencia de la magnitud de entrada X_i suficientemente bien mediante una relación funcional, el coeficiente de sensibilidad c_i se calcula por la derivada parcial de f con respecto a X_i :

$$c_i = \left. \frac{\partial f(X_1, \dots, X_N)}{\partial X_i} \right|_{X_1=x_1 \dots X_N=x_N}$$

b) Otros métodos de determinación:

Si la influencia de la magnitud de entrada X_i en el mensurando Y no está representada por una relación funcional, se determina el coeficiente de sensibilidad c_i por una estimación del impacto de una variación de X_i en Y según

$$c_i = \frac{\Delta Y}{\Delta X_i}$$

En la mayoría de los casos una magnitud de entrada X_i es afectada por varias fuentes de incertidumbre, que pueden ser por ejemplo la resolución del instrumento, la dispersión de datos obtenidas por mediciones repetidas y la

incertidumbre de la calibración del instrumento. En este caso hay dos maneras (equivalentes) de calcular la incertidumbre combinada.

- Como primera alternativa se calcula la incertidumbre total (combinada) relacionada con cada magnitud de entrada X_i por la suma geométrica de las incertidumbres individuales:

$$u(x_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^{M_i} [u_j(x_i)]^2}$$

donde $u_j(x_i)$ es la incertidumbre estándar de la fuente de incertidumbre número j de las M_i fuentes relacionadas con la magnitud de entrada X_i . Después se introducen los valores de $u(x_i)$.

- Si uno está interesado en ver el efecto particular que tiene cada una de las fuentes en la incertidumbre combinada $u_c(y)$, cada fuente puede entrar individualmente, sustituyendo el número de magnitudes de entrada N en la suma por el número total de fuentes de incertidumbre. Cabe mencionar que el coeficiente de sensibilidad c_i es igual para todas las fuentes de incertidumbre relacionadas con la misma magnitud de entrada X_i .

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 \sum_{j=1}^{M_i} [u_j(x_i)]^2}$$

Cuando el coeficiente de sensibilidad c_i es cero o cuando la función no admite una representación lineal adecuada (únicamente con la primera derivada) en el intervalo $\pm u(x_i)$ es conveniente y aun indispensable considerar términos de segundo orden (que dependen de las segundas derivadas).

Por ejemplo, si $y = x^2$ con el valor de $x=0$, como un detector de nulos con curva de respuesta cuadrática, la contribución de primer orden es nula.

4.9 Correlación

A menudo los resultados de mediciones de dos magnitudes de entrada están ligados, ya sea porque existe una tercera magnitud que influye sobre ambas, porque se usa el mismo instrumento para medir o el mismo patrón para calibrar, o por alguna otra razón.

Por ejemplo, en la calibración gravimétrica de medidores de volumen son magnitudes de entrada las temperaturas del agua y del ambiente. Estas temperaturas están relacionadas aun cuando sus valores puedan ser diferentes. La temperatura del agua será más alta cuando la temperatura ambiente lo sea y bajará cuando lo haga la temperatura ambiente, es decir existe una correlación entre estas magnitudes. Desde el punto de vista estadístico, dos variables son independientes cuando la probabilidad asociada a una de ellas no depende de la otra, esto es, si q y w son dos variables aleatorias independientes, la probabilidad conjunta se expresa como el producto de las probabilidades de las variables respectivas

$$p(q, w) = p(q) \cdot p(w)$$

Frecuentemente, se encuentran magnitudes de entrada que no son independientes. La independencia lineal de dos variables puede estimarse estadísticamente con el coeficiente de correlación

$$r(q, w) = \frac{u(q, w)}{u(q) \cdot u(w)}$$

En el denominador aparecen las incertidumbres estándar de las variables aludidas y en el numerador la covarianza de las mismas. La covarianza puede ser estimada.

- Por medio de las relaciones funcionales entre ambas variables y la tercera que influye sobre ellas.
- A partir de un conjunto de n valores de q y w según:

$$u(q, w) = \frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q}) \cdot (w_k - \bar{w})$$

Un valor de $r = 0$ indica independencia de q y w . Los valores de $r = +1$ o -1 indican una correlación total.

4.10 Incertidumbre expandida

La forma de expresar la incertidumbre como parte de los resultados de la medición depende de la conveniencia del usuario. A veces se comunica simplemente como la incertidumbre estándar combinada, otras ocasiones como un cierto número de veces tal incertidumbre, algunos casos requieren se exprese en términos de un nivel de confianza dado, etc. En cualquier caso, es indispensable comunicar sin ambigüedades la manera en que la incertidumbre está expresada.

4.11 Factor de cobertura y nivel de confianza

La incertidumbre estándar U_c representa un intervalo centrado en el mejor estimado del mensurando que contiene el valor verdadero con una probabilidad p de 68% aproximadamente, bajo la suposición de que los posibles valores del mensurando siguen una distribución normal. Generalmente, se desea una probabilidad mayor, lo que se obtiene expandiendo el intervalo de incertidumbre por un factor k , llamado factor de cobertura. El resultado se llama incertidumbre expandida U .

$$U = k \cdot u_c$$

La incertidumbre expandida U indica entonces un intervalo que representa una fracción p de los valores que puede probablemente tomar el mensurando. El valor de p es llamado el nivel de confianza y puede ser elegido a conveniencia.

En el medio industrial, a menudo se elige el nivel de confianza de manera tal que corresponda a un factor de cobertura como un número entero de desviaciones estándar en una distribución normal.

Por ejemplo, en una distribución normal, $k=1$ corresponde a $p=68,27\%$, $k=2$ a $p=95,45\%$. En una distribución rectangular $p=57,7\%$ si $k=1$.

4.12 Grados de libertad

De cierta manera el número n de grados de libertad asociado a una distribución de una magnitud (X_i o Y) puede considerarse una medida de incertidumbre de la incertidumbre de esa magnitud. Entre mayor sea n la estimación de la incertidumbre será más confiable. El número efectivo de grados de libertad n_{ef} del mensurando considera el número de grados de

libertad ni de cada fuente de incertidumbre. En las incertidumbres tipo A, ni depende directamente del número de datos considerados y disminuye conforme el número de parámetros estimados a partir de los mismos datos. La repetibilidad de una medición, estimada por la desviación estándar experimental de n lecturas tiene $n-1$ grados de libertad. Una regresión lineal de M puntos mediante una ecuación de m parámetros tiene $M-m$ grados de libertad. La determinación del número de grados de libertad de una incertidumbre tipo B implica el criterio del metrologo soportado por su experiencia, aun cuando sea subjetiva, para determinar la incertidumbre relativa de la propia incertidumbre, y calcular el número de grados de libertad para esa fuente específica i con la ecuación.

La cantidad $Du(x_i)$ es una estimación de la incertidumbre de la incertidumbre $u(x_i)$ de la fuente i cuantificada por el metrologo. Es recomendable aproximar el resultado del cálculo con la ecuación anterior al entero cercano más bajo.

$$v_i \approx \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{u(x_i)}{\Delta u(x_i)} \right]^2$$

Por ejemplo, si $Du(x_i)$ es cero, es decir, el metrologo está completamente seguro del valor de $u(x_i)$, el número de grados de libertad asociado a esa fuente es infinito. Si el metrologo considera que $u(x_i)$ tiene una incertidumbre del 50%, el número de grados de libertad es de sólo 2, y si la considera del 20% el número de grados de libertad asciende a 12. Se observa también que un valor mayor de $u(x_i)$, al ser una estimación más conservadora, puede traer consigo un menor valor de $Du(x_i)$ y por consiguiente un mayor número de grados de libertad. Siguiendo, el número efectivo de grados de libertad se calcula según la ecuación de Welch-Satterthwaite, aun cuando existan observaciones sobre su

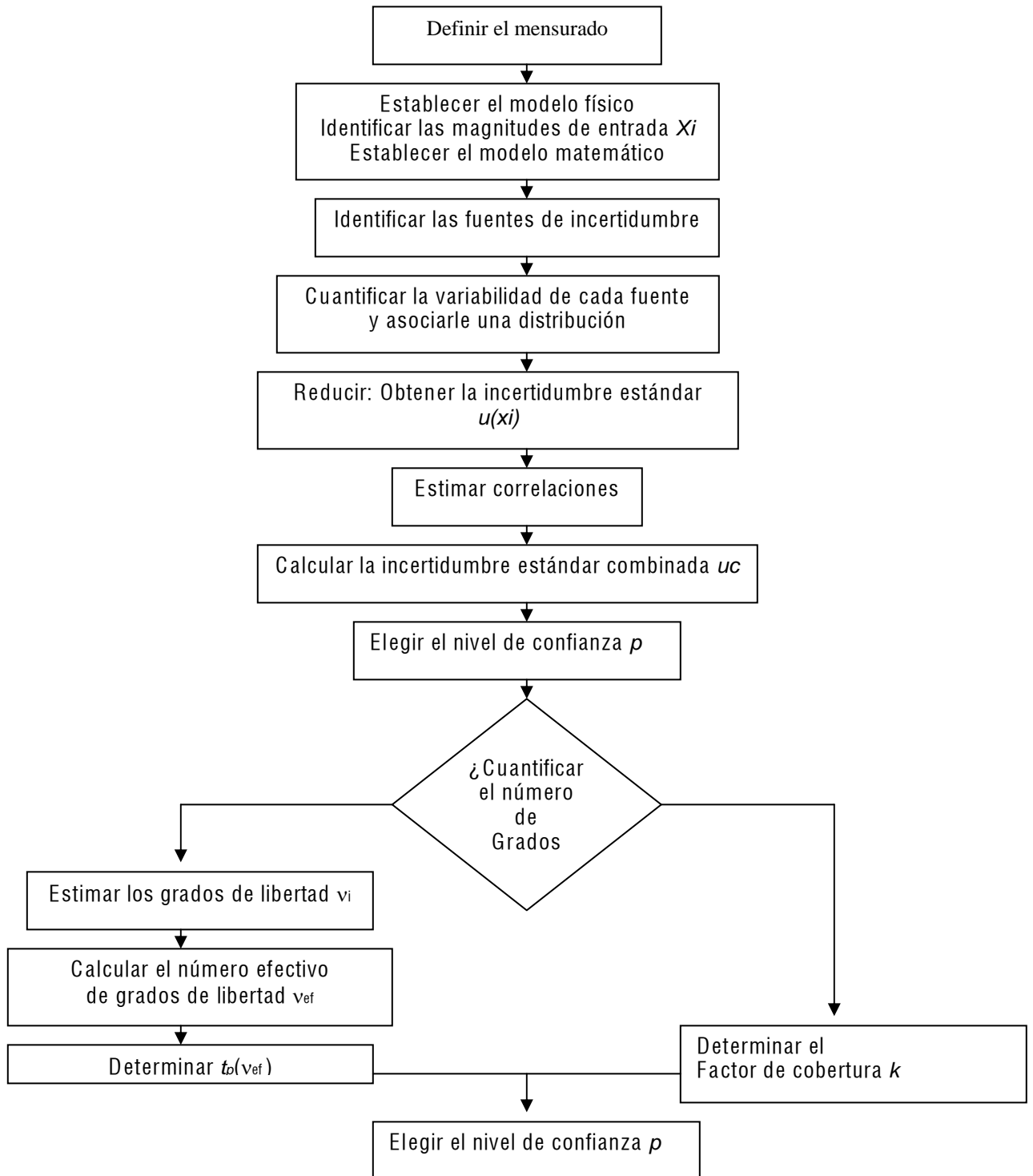
validez merecedoras de atención [6], la cual puede escribirse en términos de la relación entre la contribución de la fuente i y la incertidumbre combinada como:

$$\frac{1}{\nu_{ef}} = \sum_{i=1}^N \frac{\left(\frac{u_i(y)}{u_c(y)} \right)^4}{\nu_i}$$

Si el valor de ν_{ef} resultante no es entero, generalmente se considera ν_{ef} como el entero menor más próximo. Un análisis de la ecuación anterior muestra el dominio de las fuentes con pocos grados de libertad en el cálculo de ν_{ef} , sobre todo de aquellas cuyas contribuciones son grandes a la incertidumbre combinada. De hecho una fuente cuya contribución es alta y con pocos grados de libertad, es determinante del valor de ν_{ef} .

Por ejemplo, si la repetibilidad es el 80% de la incertidumbre combinada y se estima con 3 grados de libertad, y cada una de las otras fuentes tiene un número infinito de grados de libertad, el número efectivo de grados de libertad será aproximadamente de 7. Si fuera del 60%, se obtendrían 23 grados de libertad.

Figura 34. Diagrama para la estimación de la incertidumbre en la medición



5. FACTORES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA

5.1 Selección de patrones

Los patrones son los equipos necesarios para realizar las calibraciones a los instrumentos, entiéndase como calibración: es la comparación entre un patrón y un instrumento de medición. Escoger de una forma correcta este tipo de equipo ayudara a tener una mayor confiabilidad en los instrumentos instalados en los puntos donde hay variables críticas de proceso definidas como: bajo control metrológico. La escogencia errónea de los patrones repercutirá en un gasto innecesario de dinero, cuando las necesidades del proceso son quizás las mínimas. El gasto en la adquisición de patrones para realizar las calibraciones de instrumentos es indispensable, la escogencia de cada patrón para cada variable de medida queda a criterio del personal responsable del laboratorio de metrología, aunque también está relacionado a los requisitos del cliente, que tanta exactitud y trazabilidad requiere.

La norma técnica NTC-ISO 10012-1 define al patrón como: un material de medida, un instrumento de medición, un material o sistema de referencia destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una cantidad, con el propósito de transmitirlos a otros instrumentos de medición mediante la comparación.

5.2 Patrones de Presión

Para calibrar los instrumentos electrónicos que miden presión, se pueden emplear varios dispositivos, siendo estos: manómetros del tipo patrón, balanza de pesos muertos, calibrador de procesos y modulo electrónico de presión.

La elección del patrón de presión a utilizar queda sujeta al precio que hay que pagar por adquirir dicho patrón. Existe una correspondencia directa entre la precisión del patrón y el precio del patrón. Una definición de la precisión por parte de usuario, ayudara a escoger el patrón que se ajuste a dichos requerimientos del cliente.

Cuando se selecciona un patrón, este debe estar acompañado de su carta de trazabilidad, esto es de suma importancia para validar la calibración del patrón respectivo, y además sirve como parámetro para programar fechas de calibración de los patrones contra patrones si los hay nacionales. Un ejemplo de las características de un manómetro de alta precisión es el siguiente.

Manómetro de alta precisión

Diámetro: 150mm / * 250mm

Conexión abajo 1/2" NPT

250 mm. diámetro

Rango: 0 a 60 bar

Tubo Bourdon de bronce

Precisión: 0,1%

Resolución: 0,1 bar

Incluye espejo antiparalelaje

Error máximo de repetibilidad: 2×10^{-4} de la escala

Figura 35. Manómetro



Manómetro de precisión

Diámetro: 150mm / * 250mm

Conexión: 1/2"NPT radial abajo,

Material: acero inoxidable 316L

Visor: vidrio de 3mm.

Precisión: 0,25%

Con espejo de antiparalelaje (clase 0,25)

Anillo bisel: Ac. Inoxidable 304

Tapón de seguridad

Tubo Bourdon: Acero inoxidable

Figura 36. Manómetro de precisión



Se puede decir que la elección de un manómetro de precisión para calibrar instrumentos en un proceso donde las presiones de operación están en rangos elevados de presión de 100 a 1000 PSI, utilizar el manómetro de precisión es aceptable para dicha aplicación. También se puede escoger un tipo de patrón llamado balanza de pesos muertos

5.3 Patrones de temperatura

Existen diferentes tipos y modelos por escoger como patrón de temperatura, como se trata de calibraciones a nivel de un laboratorio industrial instalado en una fábrica, existen varias opciones, estas están sujetas a los requerimientos de exactitud del responsable de realizar las calibraciones y de los clientes quien se le prestara el servicio de calibración.

RTD's patrón

Se puede elegir una RTD como patrón, para la calibración de RTD's instaladas en el proceso. Un ejemplo típico de una RTD del tipo patrón para ser usado en el laboratorio sería con las siguientes características:

Especificaciones de RTD patrón menor precisión	
Resistencia	nominal 100 Ω ($\pm 0.1 \Omega$)
Coefficiente de temperatura	0.003925 / $^{\circ}$ C nominal
Rango de temperatura	-100 $^{\circ}$ C a 156 $^{\circ}$ C
Temperatura de transición	-100 $^{\circ}$ C a 156 $^{\circ}$ C
Rango de desviación	± 0.01 $^{\circ}$ C por año a 0 $^{\circ}$ C,
Tipo de material	inconel TM 600
Aislantes	teflon TM -
Largo cable	6.1 metros (20 ft)
Tamaño	6.35 mm (0.25 in) dia. x 152 mm (6 in)

Figura 37. RTD patrón



Especificaciones de RTD patrón mayor precisión	
Resistencia	Nominal 100 ohms
Coefficiente de temperatura	0.00385 °C nominal
Rango de temperatura	-200 °C to 420 °C (5627A-6 y 5627A-9 to 300 °C; transición y cable temperatura: 0 °C to 150 °C)

Rango de temperatura	-200 °C to 420 °C (5627A-6 y 5627A-9 to 300 °C; transición y cable temperatura: 0 °C to 150 °C)
Rango de desviación	± 0.04 °C at 0 °C despues 100 horas hasta 420 °C
Material	316 acero inoxidable
Exactitud de calibración	± 0.026 °C at -196 °C ± 0.046 °C at 0 °C ± 0.077 °C at 200 °C ± 0.124 °C at 420 °C
Tamaño	5627A-12: 305 mm x 6.35 mm (12 in x 1/4 in) 5627A-9: 229 mm x 4.7 mm (9 in x 3/16 in) 5627A-6: 152 mm x 4.7 mm (6 in x 3/16 in)


Figura 38. RTD de precisión




5.4 Patrones de pH

Uno de los patrones más comunes por encontrar para la medición de pH es, el patrón de pH en solución. Esta solución consiste en un sobre o un recipiente herméticamente sellado que contiene la solución al pH solicitado. Dependiendo el uso y de los requerimiento del cliente, este patrón se puede encontrar en los rangos desde 1 hasta 14 nivel de pH. Este tipo de soluciones son previamente calibradas con un pH- metro de nivel Nacional. El tiempo de vida de estas soluciones es importante, ya que con el tiempo el nivel de pH comienza a degradarse y hacerse mas acida la solución.

Figura 39. Certificado de calibración de la solución patrón de pH



Scharlau Chemie
Tel. int.: +34-93-7151811
Email: lab@scharlau.com



CERTIFICATE OF ANALYSIS

Product: Buffer solution pH = 4,00 (20 °C) (Potassium hydrogen phthalate)	Batch: 76496	Test date: 1/2/2006
SO1004		Shelf life: 2/2008

Analysis	Batch value	Guaranteed value
pH at 20 °C	4,004	4,00
uncertainty ± 0,01		

Preparation
Standard buffer solutions are prepared using gravimetric and volumetric procedures.
Composition per litre is 13,21g Potassium hydrogen phthalate.
Contains preservative

Temperature dependence of the pH value
When calibrating your pH-meter at different temperatures than 20°C, refer to the table below to introduce accurate pH values.

T (°C)	pH
0	4,00
5	4,00
10	4,00
15	4,00
20	4,00
25	4,01
30	4,02
35	4,03
40	4,04
45	4,05
50	4,06

Traceability
This pH buffer solution is traceable to Standard Reference Material from NIST
SRM 185b Potassium hydrogen phthalate,
SRM 185g Phosphate buffers,
SRM 185 Potassium hydrogen tartrate,
SRM 185c Potassium tetroxalate and
SRM 2133a Calcium carbonate

Uncertainty
It characterizes the dispersion of the values that could be attributed to the mesurand. The limits of the expanded uncertainty are given at a confidence level of 95% (k=2).

Measurement
The batch value is determined by measurement with a combination glass electrode against five-point calibration according to DIN 19266. The use of more than five points does not yield any significant improvement in the statistical information obtainable.
Calibration standards are prepared according to DIN 19266.
Batch value certified at the time of measurement

Storage and use
For pH-meter calibration
If product is stored and unopened, this solution is stable for 2 years from the date of manufacturing.
Once the bottle is opened, store tightly closed at room temperature. Avoid exposure to light.
Remember to write the date of opening in the space provided in the label for this purpose.
Never introduce the electrode in the bottle for measurements.
Never pour the used solution back in the bottle.

This certificate does not release the user from the reception control.

This certificate is an electronic copy of the certificate available in our laboratory, and does not require signature

If you need further details, please call at our factory or contact our local distributor.

You can get a copy of any of our COA from our web site: www.scharlau.com

page 1 of 1

Las soluciones de pH deberán estar certificadas y mostrar la fecha de caducidad, la dependencia con la temperatura, todas las soluciones patrón de pH es directamente trazable a materiales de referencia de NIST. (*Nacional Institute of Standard and Technology, EEUU*). Información indispensable que proporciona confiabilidad al momento de realizar la calibración de los electrodos de pH.

5.5 Masas patrón

Existen diferentes tipos de masas patrón entre las cuales se pueden escoger para realizar las calibraciones de las básculas de llenado automático o bien las balanzas manuales.

Masas hexagonales (RI No 52, OIML)

El valor autorizado para masas hexagonales de exactitud ordinaria son los siguientes:

100,200, y 500 gramos.

1,2,5,10,20 y 50 kilogramos.

Las masas deberán ser de una sola pieza en la forma de base de una pirámide hexagonal truncada. Las masas con valores nominales de 5,10,20 y 50 Kg deben ser fabricadas con heladeras integradas para su manejo. El material deber ser hierro gris y el método de fabricación podrá ser cualquier método satisfactorio de colado o fundido. Las masas deberán poseer una cavidad de ajuste formada en el fundido de la masa, la cavidad deberá ser en la forma de cono circular recto localizado axialmente y abierto dentro de la cara de debajo de la masa en su diámetro menor, o la calidad de ajuste deberá tener la forma de una pirámide rectangular truncada abierta dentro de la cara de debajo de la masa en su extremo menor. La información nominal de la masa y opcionalmente la marca del fabricante deberá aparecer en la cara de arriba de la masa. El valor nominal de la masa deberá indicarse como 100 g, 200 g , 500 g, 1 Kg1 2 Kg, 5 Kg, 10 Kg, 20 Kg y 50 Kg. Las dimensiones de estas masas deberán ser como las acordadse en la norma RI52 de la OIML. Las superficies de las masas deberán ser lisas y libres de manchas y porosidades, no deberán

tener extremos puntiagudos o esquinas. De ser necesarias las masas deberán ser protegidas contra la corrosión mediante una capa resistente a ella. Los errores máximos permisibles para estas masas están establecidos de la siguiente manera:

VALOR NOMINAL	Error máximo permisible (mg)
100 g	(±) 100
200 g	(±) 101
500 g	(±) 250
1 Kg.	(±) 500
2 Kg.	(±) 1000
5 Kg.	(±) 2500
10 Kg.	(±) 5000
20 Kg.	(±) 10000
50 Kg.	(±) 25000

5.6 Selección de equipos para realizar calibraciones

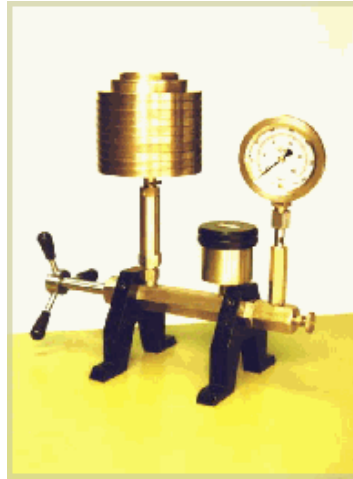
La selección de los equipos para el laboratorio es de suma importancia pues con ellos se efectuarán las calibraciones en el laboratorio. Existen diferentes tipos de equipos así como marcas que se pueden adquirir. Los equipos a comprar dependerán de las variables que se encontraran bajo control metrológico.

5.7 Balanza de pesos muertos

Este equipo es común encontrar en la industria se utiliza para poder simular la presión manométrica, se puede encontrar en diferentes rangos de presión desde 0 PSIG hasta los 10000 PSIG. La balanza manométrica de pesos muertos es un instrumento que reúne excelentes características de robustez, terminación y precisión, permitiendo efectuar mediciones mejor que 0,1 %.

La bomba es de tipo tornillo, cuyo cuerpo está construido a partir de macizo hexagonal de bronce, y el tornillo émbolo de acero inoxidable. Se fabrican en tres medidas de vástago, para presiones de hasta 500 kg/cm². El conjunto está soportado por dos patas de fundición regulable en altura y preparada para la alternativa de montaje fijo en banco. Está provista con un depósito de aceite, cuya tapa acciona una válvula aguja ubicada en su parte inferior que la comunica con la cámara de alta presión. El conjunto pistón - cilindro, se fabrica en dos versiones con relación 1:10 y 1:1 para medir alta y baja presión. Pistón construido de E-K con tratamiento térmico y el cilindro de carburo de tungsteno, aseguran la precisión en el tiempo. La conexión para el manómetro a calibrar es rígida vertical y con tuerca giratoria de ½" BSP. Se provee juego de accesorios para adaptación a ¼" y 3/8 " y a roscas NTP y métricas. Las pesas son de bronce pulido y se entregan formando un juego apto para hacer mediciones de 0,1 en 0,1 kg/cm² con el pistón de baja o de 1 kg/cm² con el pistón de alta. Su costo en el mercado es sumamente elevado.

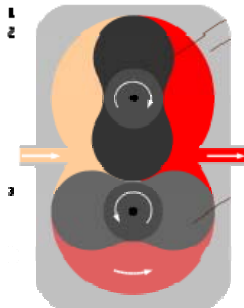
Figura 40. Balanza de pesos muertos



5.8 Bomba de vacío

La bomba de vacío es para las mediciones de presión absoluta PSIA, es muy utilizada para simular la presión absoluta. Al obtener el vacío deseado puede realizarse calibraciones de los instrumentos y vacuómetros.

Figura 41. Bomba de vacío



5.9 Calibrador pozo seco

El calibrador de pozo seco es un dispositivo que genera calor en un recinto donde se pueden introducir las RTD patrón y las RTD por calibrar. Es un dispositivo electrónico que regula su temperatura gracias a un control PID que posee para mantener constante la temperatura que se desea realizar la calibración de cualquier elemento primario con su respectivo transmisor. El calibrado de pozo seco servirá para la calibración de todos los elementos que miden temperatura.

Figura 42. Calibrado pozo seco



Un ejemplo típico de las características de un pozo seco se muestra en la siguiente tabla.

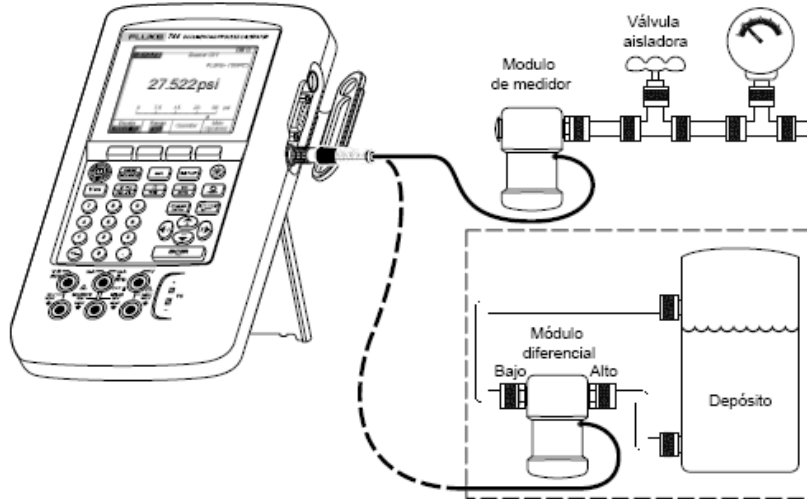
	rangos
Rangos de temperatura	-25 °C a 150 °C (-13 °F a 302 °F)
Exactitud de display	± 0.2 °C
Estabilidad	± 0.01 °C
Uniformidad axial	± 0.05 °C
Uniformidad radial	± 0.01 °C

Efecto de carga	$\pm 0.006 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Histéresis	$0.025 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Diámetro max	30 mm (1.18 in)
Tiempo de calentamiento	16 min: $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $140 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 23 min: $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 25 min: $-25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Tiempo de enfriamiento	15 min: $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 25 min: $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-23 \text{ }^{\circ}\text{C}$
peso	8.16 kg (18 lb)
Requerimientos eléctricos	100 V a 115 V ($\pm 10 \%$) 50/60 Hz, 635 W 230 V ($\pm 10 \%$) 50/60 Hz, 575 W

5.10 Calibrador electrónico de procesos

Actualmente existen una serie de dispositivos electrónicos usados para realizar calibración de temperatura, presión. Unos de los dispositivos que ha ganado campo en la metrología industrial es el calibrado de procesos electrónico, ya que cuenta con diferentes características que facilitan la calibración de los equipos transmisores electrónicos.

Figura 43. Calibrador de procesos



Los calibradores de proceso se les puede conectar módulos de presión manométrica o módulos de presión absoluta, estos módulos electrónicos pueden ser utilizados como patrones de dichas variables ya que se puede contar con un certificado de calibración trazable para dichos módulos de presión electrónicos. Además de ser usados para calibración de presión también pueden ser usados como equipos de apoyo para calibrar temperatura. Un calibrador de procesos puede calibrar y corregir las salidas de corriente o de voltaje que entregue un transmisor

Figura 44. Conexiones para la calibración de un transmisor de presión manométrica usando un calibrador de proceso

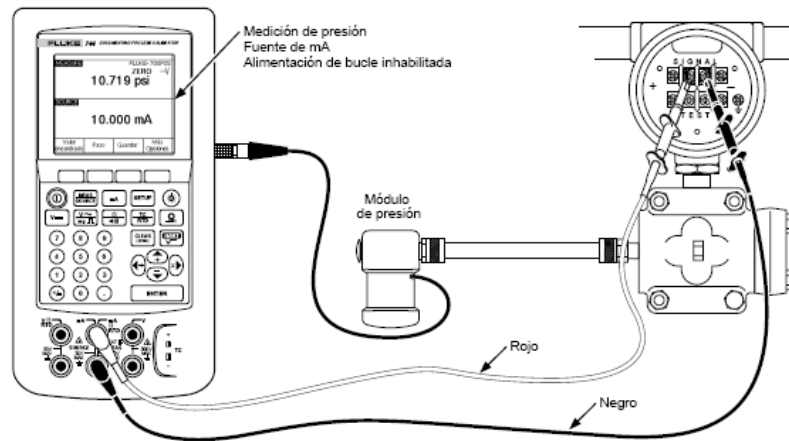
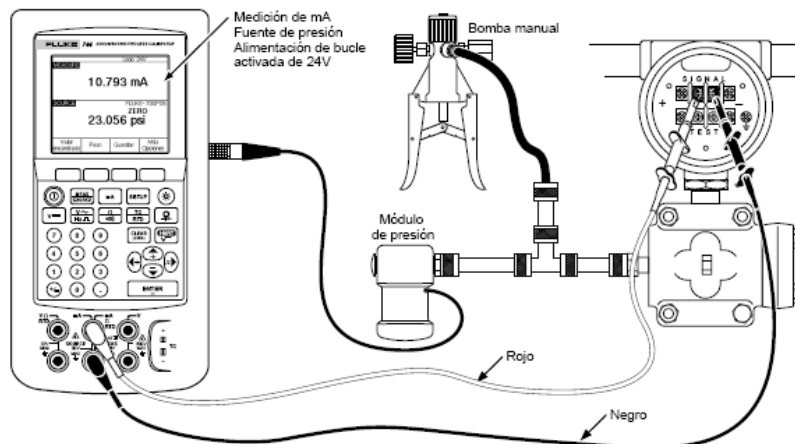


Figura 45. Conexiones para la calibración de un transmisor de presión de presión absoluta usando un calibrador de proceso



5.11 Definición de competencia para el personal técnico

La definición de las competencias del personal técnico esta a cargo de la dirección del laboratorio de metrología. Ellos se definirán con base en las diferentes calibraciones y servicios que preste el laboratorio los requisitos que deberán de cumplir los técnicos metrólogos. Sin embargo independientemente del tipo o cantidad de variables físicas que se encuentran bajo control metrológico los metrólogos deberán de tener ciertas habilidades generales, las competencias se deberán de dividir en conocimientos y experiencia.

Conocimientos:

Conocimientos avanzados en física clásica

Conocimiento en la estimación de la incertidumbre en la medición.

Conocimiento del proceso de fabricación de azúcar.

Conocimientos de electricidad o electrónica.

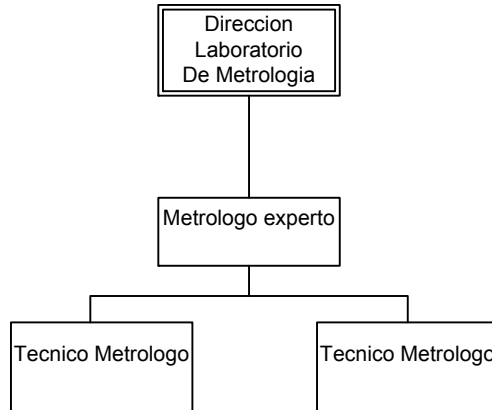
Conocimientos en mecánica de banco.

Conocimientos en configuración y ajustes a transmisores electrónicos.

La dirección del laboratorio definirá que variables de medida serán capacitados los técnicos metrólogos para realizar las calibraciones respectivas. Los tipos más comunes de variables a encontrar son: temperatura, presión manométrica, presión absoluta y peso.

Las competencias del personal técnico metrólogo, deberán ser evidenciadas con sus respectivos diplomas, títulos que acrediten la certificación de competencias específicas.

Figura 46. Organigrama del laboratorio de metrología



En el organigrama de metrología deberán estar definidas cada una de las posiciones, estas son:

Dirección laboratorio de metrología:

La dirección será la encargada de gestionar todo el recurso humano y financiero asignado al laboratorio. Se encargará de identificar, aprobar nuevas variables para incluirlas como variables bajo control metrológico.

Metrólogo experto:

Este puesto tiene como función principal desarrollar documentación que evidencia y gestione el laboratorio de metrología. Documentos tales como: procedimientos de calibración, registros de calibración, instructivos de calibración. El perfil es técnico – administrativo.

Este puesto tiene como función principal ejecutar cada una de las calibraciones programadas, siguiendo procedimientos, métodos e instructivos de calibración. Será la persona encargada de tomar datos, identificar, conectar, realizar cada una de las calibraciones que la dirección haya definido.

Técnico metrólogo:

Este puesto tiene como función principal ejecutar cada una de las calibraciones programadas, siguiendo procedimientos, métodos e instructivos de calibración. Será la persona encargada de tomar datos, identificar, conectar, realizar cada una de las calibraciones que la dirección haya definido.

5.12 Instalación física y requisitos de ambiente controlado

Las instalaciones y el ambiente dentro del laboratorio de metrología deberá ser cuidado con mucha importancia, existen diferentes normas internacionales que especifican el tipo de instalaciones, temperatura y humedad dentro del laboratorio. Según la norma ISO 17025 que especifica que para laboratorios de metrología deberá existir un ambiente controlado: humedad, presión, temperatura, y luz. Únicamente para el tipo de laboratorio industrial que se especifica será necesario controlar la humedad relativa y la temperatura dentro del laboratorio.

Para controlar la temperatura del ambiente este puede ser fácilmente controlado con el acondicionamiento del aire por medio de unidades de aire acondicionado con regulación automática. El control de la humedad relativa se deberá realiza usando un sistema llamado: deshumificador que se encargara de mantener la humedad dentro del laboratorio a la fijada en su control. Con el

control de temperatura y humedad automático, deberá instalarse un medidor en todo momento de estas dos variables

Figura 47. Higrómetro se usa para medir el grado de humedad del aire



5.13 Costo y beneficio del laboratorio para la fábrica

Hablar de una cantidad específica y determinada para cada sector es una especulación, el costo queda sujeto a que tanto quiere gastar la alta dirección de gerencia en el laboratorio de metrología. El costo del laboratorio de metrología se puede dividir a continuación:

Recurso humano calificado: ingenieros, técnicos especialistas.

Instalaciones físicas: correcta iluminación, control del ambiente humedad, temperatura.

Equipamiento: lo comprenden equipos de apoyo como: los son los calibradores de proceso, balanzas de pesos muertos, bombas de vacío, multímetros, herramientas.

Adquisición de patrones: compra de patrones del tipo industrial: patrones de presión, patrones de pH, patrones de temperatura.

El beneficio a la fábrica es únicamente: la certeza, la confiabilidad de que las diferentes variables críticas del proceso se encuentran bajo control metrológico. Esto significa que las diferentes mediciones realizadas por dichos instrumentos electrónicos es confiable, ya que se cuenta con todo un sistema de gestión de calidad para la calibración y ajuste de cada transmisor que mide variables críticas en el proceso.

6. DOCUMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA

El sistema de gestión de calidad ISO está basado en una pirámide de calidad, donde el laboratorio de metrología cumple una función importante dando un agregado al producto final, ese agregado que produce el laboratorio de metrología es la confiabilidad de las mediciones. El desarrollo de una documentación es la evidencia de la buena gestión del laboratorio y proporciona un respaldo a todas las actividades a realizar en él, además de proporcionar herramientas para llevar a cabo una mejora continua.

Figura 48. Pirámide del sistema de gestión de calidad



El plan de calidad de metrología se definirá todas aquellas variables críticas del proceso de fabricación de azúcar, estas variables críticas del proceso recibirán el nombre de: variables bajo el control metrológico. Estar bajo el control metrológico significa que dichos instrumentos electrónicos que miden esas variables críticas son monitoreados, calibrados, y registrados, siguiendo

un programa establecido de calibración. Para definir un plan de calidad de metrología se debe involucrar a los clientes, quienes son los más interesados en las mediciones, los clientes a quienes se les prestará el servicio de metrología deberán reunirse con la dirección del laboratorio de metrología para evaluar, aprobar y descartar mediciones. Con el fin de incluir instrumentos en el plan de calidad.

6.1 Procedimiento de metrología

El procedimiento de metrología proporcionará la información de las actividades, métodos, personal responsables de realizar las funciones específicas dentro del laboratorio de metrología un procedimiento típico de metrología deberá contener las siguientes secciones

- **Propósito**

Describir el proceso de control metrológico para los equipos de medición que garantizan la calidad de los insumos, productos en proceso y terminados.

- **Alcance**

El alcance del procedimiento incluye la gestión del control metrológico de todos los equipos de medición, facultados para asegurar la confiabilidad de los insumos, productos en proceso y terminados, desde la recepción de requerimientos hasta la entrega de equipos calibrados

- **Referencia**

Muestra documentos relacionados con el procedimiento

- **Definiciones**

- **Trazabilidad:**

Propiedad del resultado de una medición o el valor de un patrón, por el cual puede ser relacionado con los patrones de referencia, usualmente patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo establecidas las incertidumbres.

- **Calibración:**

Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores de magnitudes indicado por un instrumento o sistema de medición, o valores representados por una medida materializada o un material de referencia y los correspondientes valores reportados por patrones.

6.2.1 Desarrollo del procedimiento de metrología

1. Planificación de aseguramiento metrológico

La planificación del aseguramiento metrológico, inicia con la determinación y/o revisión de las variables críticas del proceso, con el objeto de conocer los equipos que serán sujetos a control. De esta revisión, se obtiene la información necesaria para la elaboración de:

- Plan de calibración de equipos de medición, el cual incluye entre otros datos: la frecuencia de calibración, los patrones críticos y los responsables.
- **Plan de calibración de patrones** que incluye frecuencia de calibración, responsables y patrones necesarios.

En esta etapa se realiza la selección de proveedores metrológicos. Cada uno de ellos debe llenar los requisitos establecidos según el procedimiento de selección y evaluación de proveedores metrológicos. Además, debe cumplir con los requisitos definidos por el proceso de compras en su procedimiento de selección de proveedores, como ente con relación comercial al sistema. Plan de competencia técnica del recurso humano que participa en las prácticas metrológicas.

2. Solicitud de servicio metrológico interno o externo

Se realizan calibraciones internas o externas fuera del plan de calibración de instrumentos, siempre y cuando el dueño del proceso lo considere conveniente para poder garantizar la exacta medición en una variable crítica de su proceso. Si es una medición que no se encuentra dentro de los alcances de las variables críticas y sus instrumentos.

Asociados, debe dirigirse al departamento de instrumentación como un proceso de mantenimiento a través de una orden de trabajo.

Una vez recibida la orden de servicio, el encargado de metrología, determina si es interna o externa. Si se determina que es una calibración interna continua con la actividad referida como calibración del equipo. Si se

determina que es una calibración externa, se elabora una requisición de material o servicio especificando claramente:

- Proveedor seleccionado de la lista autorizada para ofrecer este tipo de servicios, la fecha de realización, recepción del trabajo y entrega de certificado. Existen procesos en las que el dueño del proceso, pueden contratar sus propias calibraciones externas siempre y cuando cumplan y se responsabilice de las siguientes condiciones:

- Solicitar el proceso de selección de proveedor de servicios metrológicos al jefe de metrología, para llenar los requisitos requeridos para prestar este servicio.

- Cumplir el plan de calibración de equipos de medición incluyendo modificación de variables críticas, frecuencias de calibración, mantenimiento y otras.

- Enviar al jefe de metrología copia de los certificados de calibración, según las fechas programadas de calibraciones en el plan general, con ello mantener actualizado el archivo general de metrología.

- Asumir la responsabilidad de archivar los certificados emitidos por sus proveedores, manteniendo a su personal encargado de conocerlos y mantenerlos a la vista, ante cualquier auditoría interna o externa.

3. Calibración de equipo

Todos los instrumentos o equipo identificado como medición de variable crítica, así como sus patrones asociados, cuentan con una etiqueta visible para su rápido conocimiento y codificado.

Figura 49. Etiqueta de identificación de instrumento calibrado



El proceso de calibración se mantiene activo en función del plan de calibración de instrumentos. Es responsabilidad del jefe de metrología, velar por el cumplimiento de este plan. Cada uno de los equipos o instrumentos definidos como críticos y calibrados “internamente”, posee un documento asociado para su calibración. En este se define, criterios de aceptación, medidas acerca de la aceptación o rechazo del instrumento, consideraciones técnicas y ambientales para garantizar la correcta calibración de los equipos. Para validar el proceso de calibración, el jefe de metrología genera un certificado de calibración interna. Además, se actualiza la hoja de vida del instrumento o equipo, en donde se detallan las especificaciones técnicas del mismo, fechas de calibraciones, reparaciones, actualizaciones, daños, etc.

4 Elaboración de informes y reportes

El jefe del área, responsable del control metrológico, es el encargado de informar a las gerencias y los dueños de proceso, sobre la actividad metrológica. Se presentan dos (2) informes, uno al inicio y otro al finalizar zafra. En dicho documento, se indica la situación del plan de calibración de los instrumentos, así como de todos aquellos elementos o situaciones que no permitan la completación o correcto desempeño del control metrológico. Además, se comunica las modificaciones realizadas en número de variables frecuencias de calibración, patrones, etc.

Se indica a los distintos dueños de proceso, cuando un instrumento no cumple con las características requeridas, a cerca de las condiciones inapropiadas en el transporte y manipulación de equipo, procedimientos de calibración empleados, falta de competencia técnica u otros relacionados a personal.

5. Seguimiento y mejora

Todas las modificaciones a las variables críticas y sus actividades relacionadas provienen del dueño de proceso o metrología directamente. La gestión necesaria para determinar cualquier mejora deberá ser manejada por los procedimientos relacionados de acciones correctivas y preventivas del sistema de gestión. La entrada al control metrológico es una requisición del sistema de gestión y la salida de este proceso será un estudio de factibilidad técnica y financiera, en donde se hacen las consideraciones que implican soportar metrológicamente: una variable adicional, ampliación de cobertura, cambio de tecnología en la medición, modificación de rangos, cambio de magnitudes, etc. Para poder implementar los cambios requeridos, deberá ser aprobado por el gerente del área solicitante y el gerente industrial. Además, en

esta etapa se realiza la evaluación de los proveedores de servicios metrológicos. Para ello se sigue los lineamientos propuestos en el procedimiento de selección y evaluación de proveedores de Metrología. En él se indica los parámetros y la frecuencia con la que se debe realizar. El jefe de metrología evalúa el desempeño de los proveedores, directamente con los usuarios finales del servicio. Luego de realizada dicha evaluación, es informado el proveedor de los resultados e iniciado un proceso de mejora o consolidación del servicio

6.3 Documentación general

Los documentos generales a desarrollar en los sistemas de gestión del laboratorio serán revisados y aprobados por la dirección del laboratorio. Estos contienen información, de funciones de soporte del laboratorio. Por ejemplo: se deberá desarrollar:

- Documento de procedimiento para la evaluación de proveedores de servicios metrológicos externos.
- Documento para la selección de proveedores de servicios metrológicos externos.
- Documentos para emitir certificados internos de calibración.
- Documento para el protocolo de toma de datos para realizar calibraciones.

Estos son algunos de los documentos a desarrollar del tipo general, que proporcionarán apoyo al laboratorio de metrología

Desarrollo de instructivos de calibración genérico

Un instructivo de calibración deberá contener la siguiente información continuada presentada, el instructivo de calibración mostrará los pasos para realizar las calibraciones.

Propósito

Este instructivo tiene como propósito describir la secuencia de pasos en la calibración de termómetros bimetálicos.

Definiciones

Calibración: conjunto de operaciones que establecen bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores indicados por un aparato o sistema de medición o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud realizada por los patrones.

Patrón: medida materializada, aparato de medición o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad, o uno o varios valores conocidos de una magnitud, para servir de referencia.

Trazabilidad: propiedad del resultado de una medición o de un patrón, tal que ésta pueda ser relacionada a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas incertidumbres determinadas.

Incertidumbre: parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurado. El valor de la incertidumbre del certificado de calibración es el intervalo en torno a la mejor estimación del mensurado en donde probablemente se encuentra el valor verdadero de calibración del instrumento.

Histéresis: referido a sensores de temperatura, se refiere a la capacidad del sensor de repetir un valor dado cuando se acerca a dicho valor desde diferentes direcciones térmicas.

Medición: conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud.

Exactitud de medición: proximidad de concordancia entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurado. Notas: 1. El concepto de exactitud es caritativo. 2. El término de precisión no debe ser utilizado por exactitud.

Exactitud de un instrumento de medición: aptitud de un instrumento de medición para dar respuestas próximas al valor verdadero. Nota: "Exactitud" es un concepto cualitativo.

Clase de exactitud: clase de instrumentos que satisfacen ciertos requisitos metrológicos destinados a mantener los errores dentro de límites especificados. Nota: una clase de exactitud es usualmente indicada por un número o símbolo adoptado por convención y denominado índice de clase.

Errores y correcciones en las mediciones: en general, una medición tiene imperfecciones que dan origen a errores en el resultado de una medición.

Tradicionalmente, se considera que un error tiene dos componentes llamadas: a) componente aleatoria y b) componente sistemática.

Error aleatorio: un error aleatorio presumiblemente se presenta por variaciones impredecibles, temporales y espaciales, de las magnitudes de influencia. Los efectos de estas influencias, llamados efectos aleatorios, dan origen a las variaciones en la repetibilidad del mensurando. De acuerdo con el VIM su definición es: resultado de una medición menos la media que resultaría de un número infinito de mediciones del mismo mensurando realizadas bajo condiciones de repetibilidad.

Error sistemático: el error sistemático se presenta como una consecuencia, de un efecto reconocido, de una magnitud de influencia en el resultado de una medición y aunque al igual que el error aleatorio, no puede ser eliminado; por el contrario si puede ser cuantificado y reducido mediante una corrección o factor de corrección para compensar dicho efecto. De acuerdo con VIM su definición es: media que resultaría de un número infinito de mediciones del mismo mensurando realizadas bajo condiciones de repetibilidad menos el valor verdadero del mensurando.

Corrección: valor agregado algebraicamente al resultado no corregido de una medición para compensar un error sistemático. Nota: la corrección es igual al error sistemático, con signo negativo.

Precisión: grado de concordancia entre los resultados de los ensayos independientes obtenidos en las condiciones prescritas. El VIM no considera el

termino precisión. Las tendencias actuales han sustituido este concepto por los de repetibilidad y reproducibilidad.

Repetibilidad (de resultados de mediciones): proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando realizadas bajo las mismas condiciones de medición.

Repetibilidad (de un instrumento de medición): aptitud de un instrumento de medición para proporcionar indicaciones próximas entre sí por aplicaciones Repetidas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición. Esta repetibilidad es la considerada como fuente de incertidumbre durante el proceso e calibración del instrumento.

Reproducibilidad (de resultados de medición): proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones del mismo mensurando realizadas bajo condiciones variables de medición.

Ajuste (de un instrumento de medición): operación de llevar un instrumento de edición a un estado de funcionamiento adecuado para su uso.

Desarrollo

1. Desconectar el termómetro a calibrar del proceso y efectuarle l limpieza. Durante el desmontaje del termómetro este debe ser desenroscado del termo pozo o accesorio de conexión al mensurando haciendo troqué sobre la hexagonal de la conexión al proceso.

2. Inspeccionar visualmente el termómetro a calibrar para detectar golpes, abolladuras, distorsión de escala o aguja indicador, suciedad en el sensor, etc.
Como resultado de esta inspección se da por aceptado o no el termómetro para su calibración.
3. Preparar el protocolo de toma de datos. El protocolo de toma de datos se presenta en el anexo A y lo constituye el registro.
4. Anotar los datos de identificación del instrumento en el protocolo.
5. Preparar el calibrador de pozo seco.
6. Hacer las mediciones en por lo menos 5 puntos de la escala del termómetro a calibrar y anotar los datos en el protocolo.
7. Luego de la toma de datos se hace la corrección de la lectura del termómetro bimetálico calibrado contra el valor del pozo seco y se llevan a cabo los cálculos para estimar la incertidumbre, basados en el instructivo
8. Levantar certificado de calibración, si corresponde. El formato del certificado de calibración a llenar y lo constituye el registro.
9. Colocar etiqueta de calibración al termómetro si cumple con los lineamientos del error máximo permisible establecidos para su medición.

6.5 Registros de calibración

El registro de calibración es la evidencia de la calibración, en este se detallan los aspectos cualitativos y cuantitativos encontrados al instrumento. Deberá existir un control rígido sobre este documento puesto que son de suma importancia para validar las calibraciones efectuadas por el personal técnico de metrología.

Figura 50. Registro protocolo de toma de datos para calibración de toma de datos

	Registro: Protocolo de toma de datos para calibración de termómetro Bimetálico	Código:
		Fecha:
		Edición: 001
		Página 1/1

Código de Identificación Interna:	
Marca:	
Modelo:	
No. de Serie:	
Ubicación:	
Rango de Operación:	
Valor Mínimo de Escala:	
Temperatura Ambiente:	
Humedad Relativa:	


Protocolo de Toma de Datos		
Valor Nominal	Valor Real	Error

Valor Real = Valor de Indicación del Instrumento
 Valor Nominal = Valor del Patrón de Calibración
 Error = Valor Real - Valor Nominal

Firma de quien Calibra

Firma de quien Valida

Figura 51. Certificado de calibración interno hoja 1

 <p>INGENIO LA UNIÓN S.A.</p>	Registro:	Código: U-R-PE-904
	Certificado de Calibración Interno para	Fecha: 30 enero 2006
	Termómetros Bimetálicos	Edición: 001
		Página 1/3

Certificado de Calibración

Satisface los requisitos de la norma COGUANOR, NGR, COPANT/ ISO/IEC 17 025

Identificación del cliente:	No. de Certificado:
Nombre del cliente:	
Departamento:	
Identificación del Instrumento:	
Código:	
Descripción:	
Marca:	
Modelo:	
No. de Serie:	
Fecha de calibración:	
Fecha de emisión:	
Condiciones ambientales de medición:	
Temperatura Ambiente:	
Humedad relativa:	
Procedimiento de calibración usado:	
1) Calibración de termómetros bimetálicos U-I-PE-900	
2) Guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones BIPM/ISO	

Realizó:	Revisó y aprobó:
Responsable Técnico	Jefe Depto. Metrología


Dirección: Ingenio La Unión, S.A., Carretera Cerro Colorado Km 95, Finca Belén, Santa Lucía Cotz., Escuintla, Guatemala, C.A.

www.launion.com.gt E-mail: lab_calibracion@launion.com.gt

Página 1 de 3

Fuente: Ingenio La Unión

Figura 52. Certificado de calibración interno hoja 2

 <p>INGENIO LA UNIÓN S.A.</p>	Registro:	Código: U-R-PE-004
	Certificado de Calibración	Fecha: 30 enero 2006
	Interno para	Edición: 001
	Termómetros Bimetálicos	Página 2/3

Certificado de Calibración

Satisface los requisitos de la norma COGUANOR/NGR/COPANT/ISO/IEC 17 025

No. de Certificado

Resultado del examen físico:

Este instrumento ha sido examinado y no se ha encontrado evidencia de detrimento de su funcionalidad, por lo que se determina que es un instrumento susceptible de calibración.

Resultado de la Calibración:

Temperatura Patrón	Temperatura Instrumento	Corrección	Incertidumbre Expandida (k = 2)

La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k = 2$ para distribución normal (tipo A), lo que corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida aquí reportada no contiene estimación de

- (1) Cualquier efecto introducido por su transportación entre el laboratorio de calibración y el usuario.
- (2) Corrimientos del instrumento.
- (3) Histéresis del instrumento o
- (4) Cualquier incerteza en la medición introducida por el usuario.

La incertidumbre estándar combinada se ha obtenido conforme a la Guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones BIPM/ISO (1993).

Este certificado tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.

Este certificado de calibración no puede ser reproducido excepto en forma completa, sin alteraciones o cambios, requiriendo previa autorización por escrito por parte del laboratorio de calibraciones de Ingenio La Unión S.A.


Dirección: Ingenio La Unión, S.A., Carretera Cerro Colorado Km 95, Finca Belén, Santa Lucía Cotz., Escuintla, Guatemala, C.A.

www.launion.com.gt E-mail: lab_calibracion@launion.com.gt

Página 2 de 3

Fuente: Ingenio La Unión

Figura 53. Certificado de calibración interno hoja 3

	Registro:	Código: U-R-PE-904
	Certificado de Calibración	Fecha: 30 enero 2006
	Interno para	Edición: 001
	Termómetros Bimetalicos	Página 3/3

Certificado de Calibración

Satisface los requisitos de la norma COGUANOR NGR/COPANT/ ISO/IEC 17 025

No. de Certificado:

Trazabilidad:

Equipo de comparación usado:

Instrumento	Marca	Modelo	No. Serie	Fecha Recalib.
Dry-Well Calibrator	Hart Scientific	9100S	A24001	

Observaciones:

Este certificado únicamente ampara las mediciones realizadas en el momento y a las condiciones ambientales y de uso en que se realizó la calibración.
 Es responsabilidad del cliente el recalibrar el instrumento en intervalos y tiempo que crea apropiados.
 Este certificado valida únicamente las características del instrumento descritas en este Certificado.
 La calibración realizada y documentada por este reporte es una calibración de escala completa y no se le impone ninguna limitación de uso al instrumento.

Dirección: Ingenio La Unión, S.A., Carretera Cerro Colorado Km 95, Finca Belén,
 Santa Lucía Cotz., Escuintla, Guatemala, C.A.
www.launion.com.gt E-mail: lab_calibracion@launion.com.gt
 Página 3 de 3

Fuente: Ingenio La Unión

CONCLUSIONES

1. Actualmente, los laboratorios de metrología industrial dan una certeza y confiabilidad en las mediciones en tiempo real de los procesos de fabricación.
2. El costo elevado del desarrollo, gestión y mantenimiento de un laboratorio de metrología es considerado como una inversión económicamente fuerte. Los resultados esperados de esta inversión son prácticos y tangibles, ya que al obtener confiabilidad en las mediciones realizadas se tiene incidencia directa en la eficiencia y en la calidad del producto final.
3. La implantación de un laboratorio de metrología industrial está sujeto al compromiso de una gerencia a querer invertir en mejorar continuamente el proceso de fabricación.
4. Son muchas las variables físicas que se pueden medir en un proceso de fabricación del tipo continuo, sin embargo, el conocimiento y la experiencia en el proceso en cuestión pueden ayudar a definir variables críticas, que deben estar bajo control metrológico.
5. El personal responsable de un laboratorio de metrología y sus competencias, en el conocimiento de esta ciencia e instrumentación, deberá ser avanzado.

RECOMENDACIONES

1. Es aconsejable identificar las variables críticas de un proceso antes de adquirir equipos y patrones para la calibración.
2. El personal responsable de realizar las calibraciones deberá tener competencias desarrolladas, además debe existir una mejora en estas.
3. Es aconsejable, en un principio, incluir las variables más críticas del proceso bajo el control metrológico, y luego de varias etapas ir agregando otras.
4. Para la variable de flujo volumétrico, es aconsejable definir esta calibración como externa, ya que es muy costoso adquirir equipos para realizar este tipo de calibraciones.
5. Es necesaria la implementación de un programa de mejora continua en la gestión y el equipamiento del laboratorio de metrología industrial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cameron, J. Graham. ***ISO/IEC 17025 Enhancing the competitiveness of calibration and testing laboratories, program for the accreditation of laboratories.*** Canadá, 2003. 550 pp.
2. CENAM. **Guía técnica de trazabilidad e incertidumbre en la magnitud de masa, calibración de pesas clase E2 hasta M3.** México 2004. 54 pp.
3. Chen, J. **Manual del azúcar de caña.** México: Limusa, 1991 1500 pp.
4. Creus, Antonio. **Instrumentación industrial.** 7ª ed. Venezuela: Maracombo, 1998. 750 pp.
5. Doebelin, Ernest. ***Measurement systems application and design international student edition,*** 4ª ed. USA: McGraw Hill Book, 1998.
6. Dunn, William. ***Fundamentals of Industrial instrumentation and process control.*** USA: McGraw Hill. 2005. 1200 pp
7. Ensinas, A. ***Design of evaporation systems and heaters networks in sugar can factories using a thermo economic optimization procedure internal report, mechanical engineering faculty, state university of campinas.*** USA: 2007. 50 pp
8. Hugot, E. ***Handbook of cane sugar engineering,*** 3ª ed. USA: 1986. 1800 pp.
9. Miller, R.W. ***Flow measurement engineering handbook.*** 2ª ed. USA: McGraw Hill. 2006. 450 pp.
10. Norma técnica colombiana NTC-ISO 10012-1. **Requisitos de aseguramiento de equipos de medición parte 1.** Colombia, 1994

11. Smith Wolfgang, Lazos Rubén. **Guía para estimar la incertidumbre en la medición.** Centro nacional de metrología. México, 2000. 75 pp