



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN BANCO DE
MANOMETRÍA PARA CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS
DE FLUIDOS LÍQUIDOS EN EL RANGO DE (0 A 60) MPA**

Carlos Ernesto Martínez Lira

Asesorado por el Ing. César Alfonso García Guerra

Guatemala, noviembre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN BANCO DE
MANOMETRÍA PARA CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS DE
FLUIDOS LÍQUIDOS EN EL RANGO DE (0 A 60) MPA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CARLOS ERNESTO MARTÍNEZ LIRA

ASESORADO POR EL INGENIERO CÉSAR GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN BANCO DE MANOMETRÍA PARA CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS DE FLUIDOS LÍQUIDOS EN EL RANGO DE (0 A 60) MPA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 08 de abril de 2009.

Carlos Ernesto Martínez Lira

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por su infinita misericordia y sabiduría al permitirme culminar hoy un sueño.
- La Virgen** Por cuidarme y estar junto a mí en las dificultades de mi vida.
- Mis padres** Manuel Martínez y Olimpia Lira, por el sacrificio, amor, apoyo y confianza, que me brindaron siempre.
- Mis hermanos** Elka Manola, Sid Denise y Marco Manolo por su comprensión, apoyo y paciencia, tanto en mi formación y en mi vida.
- Mi novia** Gabriela Sagastume, por tu comprensión, apoyo y por todo tu amor incondicional.
- Mis padrinos** Por el apoyo en mi formación.
- Mis abuelos** Por su amor y sus sabias enseñanzas.
- Mis amigos** Por su amistad, entusiasmo y apoyo brindado durante todo este tiempo.
- Ing. César García** Por su asesoría y apoyo durante la realización de esta investigación.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi guía y mi fortaleza.
La Virgen	Por ser mi compañera y mi consejera.
Mis padres	Manuel Enrique Martínez María Olimpia Lira (q.e.p.d.)
Mis hermanos	Manola, Denise y Manolo.
Mi novia	Gabriela Regina Sagastume Maltez
Mis abuelos	Ernesto Martínez (q.e.p.d.), María del Carmen Mérida ((q.e.p.d.), Carlos Lira (q.e.p.d.) y Olga Leverón (q.e.p.d.).
Mis sobrinos	Estephany, Emily, José Manolo, Saray y Olimpia.
Mis amigos	Esther Roquel, Carol Cabrera, Marien, Francisco Carrillo, Paulo Vendrell, Augusto Barrientos, César García, Adrian Soberanis, Héctor, Marvin Gracia, Yocimar García, Darío, Cindy, José Leonel, Darwin Morales y Karin, gracias especiales por todo su apoyo.
Ingenieros	César García, Ramiro Santizo, por trasmitirme sus conocimientos y hacer de esta investigación una realidad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MARCO CONCEPTUAL	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	2
1.3. Determinación del problema	3
1.3.1. Definición	3
1.3.2. Delimitación	3
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Presión	5
2.1.1. Unidades	6
2.1.2. Cambio de presión con la profundidad	7
2.1.3. Presión absoluta y manométrica	7
2.1.4. Medición de la presión	8
2.1.5. Clasificación de instrumentos de presión	12
2.1.5.1. División de los elementos mecánicos	12

3.4. Recursos materiales disponibles	37
3.5. Técnica cuantitativa	40
3.6. Recolección y ordenamiento de la información	41
3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	42
3.8. Análisis estadístico	46
3.8.1. Análisis de mínimos cuadrados	46
3.8.2. Cálculos para la confiabilidad que tienen los parámetros de los mínimos cuadrados	47
3.9. Plan de análisis de los resultados	51
3.9.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables	51
3.9.2. Programas a utilizar para análisis de datos	52
4. RESULTADOS	53
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS 1	75
ANEXOS 2	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Partes de un manómetro Bourdon	9
2	Banco Calibrador de Pesas	10
3	Calderín y manómetro de tubo en “U”	11
4	Ejemplo de escala de un manómetro industrial	15
5	Flujograma de la metodología para el proceso de calibración de Manómetros industriales	36
6	Mesa de acero inoxidable	37
7	Bomba para proveer presión hidráulica	37
8	Unidad auxiliar de transmisión de presión	38
9	Set de accesorios BSP	38
10	Set de accesorios NPT	39
11	Manguera hidráulica	39
12	Manómetros patrón marca HEISE	40
13	Gráfica nominal de evaluación estimada para una calibración con respuesta exacta e incertidumbre nula	50
14	Etapas de ciclo Deming (PDCA)	52
15	Diagrama de requisitos académicos	75
16	Diagrama descriptivo de la planificación general para la calibración de manómetros utilizados en el CII	78
17	Diagrama de operaciones	79
18	Diagrama de causa efecto de procedimiento de calibración de manómetros industriales en el CII	81

19 Especificaciones de los manómetros patrón de referencia clase 0,05% marca HEISE	85
20 Medidas y detalles de los manómetros patrón de marca HEISE	86
21 Presencia de histéresis de uno de los manómetros ubicado en el CII	87
22 Presencia de histéresis de uno de los manómetros ubicado en el laboratorio de Hidráulica	88

TABLAS

I. Conversiones para distintas unidades de presión	6
II. Toma de datos de manómetros industriales, utilizando un manómetro patrón de subdivisión de 0,1 kPa marca HEISE, con rango de medición de 0 a 100 kPa	42
III. Toma de datos de manómetros industriales, utilizando un manómetro patrón de subdivisión 0,002 MPa marca HEISE, con rango de medición de 0,0 a 2,0 MPa	43
IV. Toma de datos de manómetros industriales, utilizando un manómetro patrón de subdivisión de 0,05 MPa marca HEISE, con rango de 0 a 40 MPa	44
V. Toma de datos de manómetros industriales, utilizando un manómetro patrón de subdivisión de 0,1 MPa marca HEISE, con rango de medición de 0 a 60 MPa	45
VI. Cálculo para el análisis de mínimos cuadrados	48
VII. Cálculo para el análisis de mínimos cuadrados	49
VIII. Evaluación de las observaciones básicas que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1 993 para la verificación de la instalación y funcionamiento del Manómetro Patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 100 kPa.	53
IX. Evaluación de las observaciones básicas que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1 993 para la verificación de la instalación y funcionamiento del Manómetro Patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 2,0 MPa	54

X.	Evaluación de las observaciones básicas que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1 993 para la verificación de la instalación y funcionamiento del Manómetro Patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 40 MPa.	55
XI.	Evaluación de las observaciones básicas que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1 993 para la verificación de la instalación y funcionamiento del Manómetro Patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 60 MPa.	56
XII.	Inventario de los manómetros que pueden ser sujetos de evaluación y su distribución en relación al manómetro patrón que se utiliza	57
XIII.	Componentes de linealidad (m y b) para cada manómetro de aceite evaluado y su cálculo de incertidumbre, utilizando el patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 100 kPa	58
XIV.	Componentes de linealidad (m y b) para cada manómetro de agua evaluado y su cálculo de incertidumbre, utilizando el patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 100 kPa	58
XV.	Componentes de linealidad (m y b) para cada manómetro de aceite evaluado y su cálculo de incertidumbre, utilizando el patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 2 MPa	59
XVI.	Componentes de linealidad (m y b) para cada manómetro de agua evaluado y su cálculo de incertidumbre, utilizando el patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 2 MPa	59
XVII.	Componentes de linealidad (m y b) para cada manómetro de aceite evaluado y su cálculo de incertidumbre, utilizando el patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 40 MPa	60
XVIII.	Componentes de linealidad (m y b) para cada manómetro de aceite evaluado y su cálculo de incertidumbre, utilizando el patrón	

marca HEISE, con rango de medición de 0 a 60 MPa	60
XIX. Cronograma de actividades	82
XX. Costo estimado para la elaboración de la investigación del banco manométrico del CII	83

PLANOS

1. Diseño de mesa de acero inoxidable para banco de manometría
2. Banco de manometría para calibración de manómetros de fluidos líquidos en el rango de (0 a 60) MPa.(Vista frontal)
3. Banco de manometría para calibración de manómetros de fluidos líquidos en el rango de (0 a 60) MPa. (Vista lateral)

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Aceleración.
Y_i	Cada dato de presión de respuesta MPa.
CII	Centro de Investigaciones de Ingeniería.
ρ	Densidad
D	Determinante.
°C	Grado Celsius.
HR	Humedad relativa.
Σb	Incerteza del intercepto “b” de la recta.
Σm	Incerteza de la pendiente “m” de la recta.
b	Intercepto de la recta.
KPa	Kilo Pascales.
M	Masa.
\bar{X}	Media aritmética.
MPa	Mega Pascales.
N	Número de observaciones.
X_i	Observación de medición.
m	Pendiente de la recta.
P	Presión (MPa, kPa, psi, bar).
P	Presión.
PA	Presión de respuesta del manómetro a comparar.
PP	Presión nominal del patrón.
Σ	Sumatoria.
T	Temperatura.

GLOSARIO

Ajuste	Operación de llevar a un instrumento de medición, a un estado de desempeño adecuado para su uso.
Calibración	Conjunto de operaciones que establecen la relación entre los valores de las magnitudes indicadas, por un instrumento o sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada o un material de referencia y los valores correspondientes de la magnitud, realizados por los patrones.
Condiciones ambientales	Condiciones de presión y temperatura, del entorno que pueden afectar el resultado de una medición.
Desviación estándar	Es la magnitud de la dispersión de una serie de datos, con respecto a su valor promedio.
Diagnóstico metrológico	Es el conjunto de verificación o validación que se realiza a un instrumento de medición, para establecer que se encuentran en condiciones de aptitud, en caso contrario, el instrumento no debe estar en condición de uso.

Errores permisibles	Valores extremos de un error permitido por especificaciones, regulaciones, etc., para un instrumento dado.
Exactitud de una medición	Acuerdo más cercano entre el resultado de una medición y el valor verdadero del objeto de medición.
Fiabilidad	Es la confianza que se tiene en los datos que proporciona un instrumento de medición.
Histéresis	Es la diferencia en las lecturas de presión medidas en la secuencia de descompresión, respecto a los realizados a compresión.
Incertidumbre	Parámetro asociado a los resultados de una medición que caracteriza la dispersión de los valores, que podrían ser atribuidos razonablemente al mensurando ó a magnitudes sujetas a una medición.
Intercepto	Componente de la ecuación de la recta que corresponde a la intersección con los ejes de coordenadas (Y).
Manómetro	Instrumento que sirve para medir presiones, sus unidades pueden ser medidas en distintas unidades de medición.

Mantenimiento	Todas las acciones que tienen como objetivo, mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.
Medición	Conjunto de operaciones que tienen como objeto determinar el valor de una magnitud.
Patrón metrológico	Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad, o uno o más valores de una magnitud para servir de referencia.
Pendiente	Componente de la ecuación de una recta (m) cuyo valor da la proporción de variación entre la variable independiente, presiones patrón, respecto a valores de la variable dependiente, presiones del aparato a medir.
Presión	Magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.
Tolerancia	Son los límites de aceptación que se han elegido para un proceso o un producto.

RESUMEN

Este trabajo de graduación consistió en el diseño, instalación y evaluación de un banco de manometría en el Centro de Investigaciones de Ingeniería-CII- utilizando el protocolo de verificación de medidores de presión de la recomendada Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1 993.

El diagnóstico metrológico realizado consistió en un plan de mantenimientos correctivos, preventivos, y una comparación posterior a los manómetros evaluados tipo Bourdon elástico. Como consecuencia del diagnóstico fueron analizados un total de 22 manómetros, encontrando fuera de uso tres manómetros en mal estado y en buen funcionamiento 19 manómetros, los cuales pertenecen a las diferentes secciones del CII, a los laboratorios de hidráulica de ingeniería y al laboratorio de operaciones unitarias de ingeniería química.

Para el diagnóstico de los manómetros se utilizó el método probabilístico de mínimos cuadrados, analizando su pendiente $-m-$ e intercepto $-b-$; indicando para cada manómetro en buen funcionamiento, si se encuentran dentro de los rangos de presión permitidos, según recomendación de la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1 993.

Con los datos obtenidos de la evaluación, de la aceptación de medición, se realizó los ajustes necesarios y se diagnosticó de forma correcta cada unidad, todo esto según los parámetros establecidos para el caso según la recomendación antes mencionada.

OBJETIVOS

GENERAL

Instalar y evaluar una unidad de metrología, para la calibración de manómetros generales en la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

ESPECÍFICOS

1. Instalar un banco móvil de manometría en una estructura de acero inoxidable.
2. Implementar el procedimiento para la evaluación de aptitud de manómetros industriales de rango de 0 a 60 MPa utilizando el banco de manometría.
3. Evaluar la operación de todo el equipo en cada uno de los diferentes rangos según su capacidad de presión.
4. Instalar y evaluar la unidad de membrana, en una estructura de acero inoxidable, para la realización de mediciones de presión con fluidos de aceite y agua.
5. Realizar la evaluación estadística de los diferentes rangos de manómetros aptos y no aptos, a partir de los resultados obtenidos al calcular la incertidumbre de los componentes, mediante regresión lineal de datos de calibración.

INTRODUCCIÓN

Las mediciones de presión son las más importantes que se hacen en la industria; sobre todo en industrias de procesos continuos, como el procesamiento y elaboración de compuestos químicos. La cantidad de instrumentos que miden la presión puede ser mucho mayor que la que se utiliza en cualquier otro tipo de instrumento.

La presión es una fuerza que se ejerce sobre una área determinada y se mide en unidades de fuerzas por unidades de área. Esta fuerza se puede aplicar a un punto en una superficie, o distribuirse sobre esta. Cada vez que se ejerce se produce una deflexión, una distorsión o un cambio de volumen o dimensión. Las mediciones de presión pueden ser desde valores muy bajos que se consideran un vacío, hasta miles de toneladas por unidad de área.

Los principios que se aplican a la medición de presión se utilizan también en la caracterización estática y dinámica de fluidos líquidos y gaseosos. Por lo tanto, es importante conocer los principios generales de funcionamiento, los tipos de manómetros, los principios de instalación y la trazabilidad en que se deben mantener dichos instrumentos de medición para obtener la más exacta lectura.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

Rodríguez De León (Guatemala, 1992 febrero) realizó un estudio de los distintos tipos de medidores de presión; su uso, clasificación, funcionamiento, aplicación, instalación y calibración de medidores de presión. Dejando como punto importante la protección y mantenimiento de los manómetros.

Corzo Manzo (Guatemala, 2005 noviembre) ha presentado un diagnóstico a instrumentos de medición de la presión arterial (Esfigmomanómetros) utilizados en el hospital Roosevelt, mediante la utilización del protocolo de verificación de medidores de presión arterial no invasivos de la recomendación OIML R 16-1. Dejando un plan de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.

López Bonilla (Guatemala, 2006 octubre) ha presentado un estudio de manometría y termometría aplicada a la operación de una empresa que diseña equipos de refrigeración comercial. Dando así la clasificación y registros de los instrumentos de medición, la realización de calibración que permite conocer el historial de la incertidumbre y el error de la medición y de los equipos.

Carrillo Fajardo (Guatemala, 2009 octubre) ha realizado un diagnóstico metrológico para la calibración a esfigmomanómetros utilizados en el hospital San Juan de Dios, mediante la utilización del protocolo de verificación recomendado por OIML R 16-1. Dejando un plan de inspección visual, mantenimiento correctivo y preventivo.

1.2. Justificación

La instalación de un banco de manometría por comparación para calibración de manómetros de uso general en los rangos de (0 a 60) MPa, es una alternativa de calibración de manómetros para la Facultad de Ingeniería, en especial para los equipos del CII, así como del área de operaciones unitarias.

La existencia de un banco manométrico por comparación en el Centro de Investigaciones de Ingeniería ayudaría al mantenimiento de la trazabilidad de manómetros instalados en diversos equipos en los laboratorios del CII y del laboratorio de operaciones unitarias, de la Escuela de Ingeniería Química, así como a futuro ofrecer servicios de calibración a entidades privadas y públicas.

La construcción de un banco de manometría por comparación de uso general en los rangos de 0 a 60 MPa requiere de un cuidado y procedimiento adecuado para su instalación y operación, porque es necesario que al completarse la instalación del banco de manometría se disponga de un lugar adecuado bajo condiciones ambientales adecuadas y responsabilidades delegadas a personal profesional.

Actualmente, en Guatemala no se dispone de un protocolo de operación para la realización de calibraciones por lo que el presente proyecto utilizará como referencia la norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1 993, denominada "Instrumentos de medición-manómetros con elemento elástico específico".

1.3. Determinación del problema

1.3.1. Definición

Una de las necesidades en Guatemala, en el área metrológica, es la implementación de un banco de calibración manométrica por comparación, es por ello que en el CII surgió el interés de implementar el uso de un banco de manométrico por comparación.

La falta de este equipo impide el proceso de evaluación manométrica no confiable, ya que a través de ello se tendría una referencia de uso y de diagnóstico de proceso más confiable.

Partiendo de éste punto se remarca la necesidad de implementar normativos para asegurar la calidad y confirmar sin dudas el diagnóstico de uso.

1.3.2. Delimitación

La implementación y el aprovechamiento del banco de manometría por comparación en el CII beneficiará en la calibración de los equipos que utilicen manómetros, así como, manómetros del laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela de Ingeniería Química y la prestación de servicios a otras entidades que necesiten dar mantenimiento y verificación de sus manómetros.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Presión

Una de las formas más sencillas de definir la presión es; imaginándose un gas encerrado en un recipiente. Las moléculas del gas chocan continuamente con las paredes, generando fuerzas. Si se toma una pared del recipiente, se cuantifica la fuerza que actúa en forma perpendicular sobre la misma en un instante dado y se divide por el área superficial de la pared, se obtiene lo que se conoce como presión. Entonces la presión puede definirse como *la fuerza normal que ejerce una sustancia sobre una superficie, por unidad de área de la misma.*

Una atmósfera de presión se define como 101 325 Pa, y equivale a 760 mm de mercurio en un barómetro convencional. Como la mayoría de los medidores de presión manométrica miden la diferencia entre la presión del fluido y la presión atmosférica local, hay que sumar ésta última al valor indicado por el manómetro para hallar la presión absoluta.

Una lectura negativa del manómetro corresponde a un vacío parcial.

En la atmósfera, el peso cada vez menor de la columna de aire a medida que aumenta la altitud, hace que disminuya la presión atmosférica local. Así, la presión baja desde su valor de 101 325 Pa al nivel del mar hasta unos 2 350 Pa. Para la ciudad de Guatemala la presión local es de 640 mm de Hg lo cual equivale a 85,326 Pascales.

Tabla I. Conversiones para distintas unidades de presión

	Pascal	Bar	N/mm ²	kp/m ²	kp/cm ²	atm	Torr
1 Pa (N/m²)	1	1,00E-05	1,00E-06	0,102	0,102×10 ⁻⁴	0,987×10 ⁻⁵	0,0075
1 bar (daN/cm²)	100 000	1	0,1	10 200	1,02	0,987	750
1 N/mm²	106	10	1	1,02×10 ⁵	10,2	9,87	7 500
1 kp/m²	9,81	9,81×10 ⁻⁵	9,81×10 ⁻⁶	1	10-abr	0,968×10 ⁻⁴	0,0736
1 kp/cm²	98 100	0,981	0,0981	10 000	1	0,968	736
1 atm (760 Torr)	101 325	1,013	0,1013	10 330	1,033	1	760
1 Torr (mmHg)	133	0,00133	1,33×10 ⁻⁴	13,6	0,00132	0,00132	1

Fuente: Manual del Ingeniero Químico, JOHN H. PERRY.

Presión parcial se entiende como la presión efectiva que ejerce un componente gaseoso determinado, en una mezcla de gases. La presión atmosférica total es la suma de las presiones parciales de sus componentes (oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono y gases nobles). Por dicha razón la presión medida es la suma de las presiones parciales de los componentes de aire, ya que para las condiciones de la medida, el fluido de referencia es el aire que se introduce a la cámara del medidor de presión.

2.1.1. Unidades

La presión suele expresarse en el SI en *Pascales* (Pa), siendo un Pascal equivalente a un Newton por metro cuadrado (N/m²). En el sistema inglés, la presión se expresa en libra fuerza por pulgada cuadrada o libra fuerza por pie cuadrado, que por lo regular se abrevia *psi* y *psf*, respectivamente.

2.1.2. Cambio de la presión con la profundidad

Todos los puntos dentro de un fluido continuo con la misma cota, están sometidos a la misma presión. Sin embargo, la presión *umenta con la profundidad*, debido a la fuerza de gravedad (peso del fluido). Casos muy conocidos son el aumento de la presión con la profundidad en una piscina o un lago y el cambio de la presión de la atmósfera con la altitud. El cambio de la presión con la altura entre dos puntos con distintas cotas está expresado en la ecuación de la hidrostática, la cual establece que $\Delta P = \gamma \cdot h$, donde ΔP es el incremento de presión, γ el peso específico del fluido y h es la distancia vertical entre los puntos. En los gases, debido a que su peso específico es bajo, suele desprejarse la variación de presión con la altura, sobre todo cuando se trabaja con sistemas de altura limitada, como son la mayoría de los casos de interés. Por lo tanto, la presión en un recipiente que contiene un gas puede considerarse uniforme.

2.1.3. Presión absoluta y manométrica

A la presión real en un punto determinado de un sistema se le llama *presión absoluta*, debido a que se mide respecto al cero absoluto de presión. Es necesario utilizar el adjetivo absoluto, debido a que la mayoría de los dispositivos usados para medir experimentalmente la presión, indican lo que se conoce como *presión manométrica*. Una presión manométrica es la diferencia entre la presión absoluta del fluido y la presión atmosférica. Esto es:

$$P_{\text{MAN}} = P_{\text{ABS}} - P_{\text{ATM}} \quad \text{o} \quad P_{\text{ABS}} = P_{\text{MAN}} + P_{\text{ATM}}$$

2.1.4. Medición de la presión

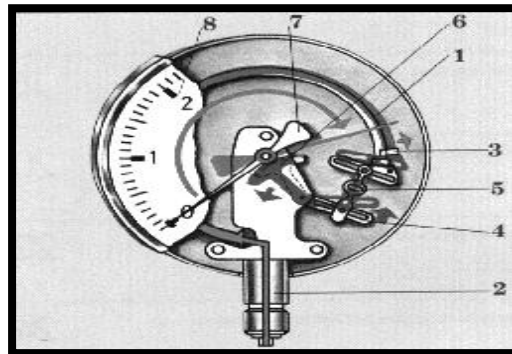
El conjunto de técnicas y procedimientos existentes para medir la presión de un fluido recibe el nombre de *manometría* y los instrumentos usados para medir la presión son conocidos como *manómetros*. Uno de los instrumentos usados para medir presión es el *barómetro*, el cual permite medir la *presión atmosférica*, también conocida, debido a esto, como presión barométrica o lectura barométrica. La presión atmosférica varía con la altitud y con las condiciones climáticas. Por ello, a la presión atmosférica en un determinado lugar de la tierra se le llama *presión atmosférica local*.

Uno de los dispositivos más usados para medir presión es el *Manómetro de Bourdon*, que consta de un tubo de volumen pequeño que forma un arco circular y que se fija en un extremo, en tanto que permanece suelto en el otro, para permitir su desplazamiento.

El fluido de presión desconocida puede ingresar en este tubo, por lo que un aumento de su presión provoca la reducción de la curvatura del arco, el desplazamiento del extremo móvil del tubo y, por último, el movimiento de la aguja indicadora, a través de una serie de articulaciones y engranajes.

Esta aguja gira sobre una escala calibrada que proporciona una indicación mecánica de la presión. Entre sus ventajas están la precisión y un amplio rango de empleo y entre sus desventajas, la complejidad y el costo. Ver figura 1.

Figura 1. Partes de un manómetro Bourdon



- (1) Tubo de Bourdon
- (2) Soporte fijo del tubo
- (3) Extremo móvil del tubo
- (4) Corredera
- (5) Biela
- (6) Engranaje
- (7) Aguja indicadora
- (8) Escala calibrada

Fuente: Manual del Ingeniero Químico, JOHN H. PERRY.

La forma más tradicional de medir presión de manera precisa, utiliza un tubo de vidrio en forma de "U", donde se deposita una cantidad de líquido de densidad conocida. Este tipo de manómetro se utiliza para medir la presión en términos de la altura de una columna de líquido. Si un extremo del manómetro se somete a una presión, mientras el otro está sometido a la presión atmosférica, se originará una diferencia de cotas entre los niveles del líquido a ambos lados del tubo en "U", pudiendo establecerse, a través de la ecuación de la hidrostática, que la diferencia entre las presiones de ambos extremos es igual al producto entre el peso específico del fluido usado por el manómetro y la diferencia de cotas entre los niveles del líquido a ambos extremos del tubo. A continuación se presentan distintos procedimientos de calibración.

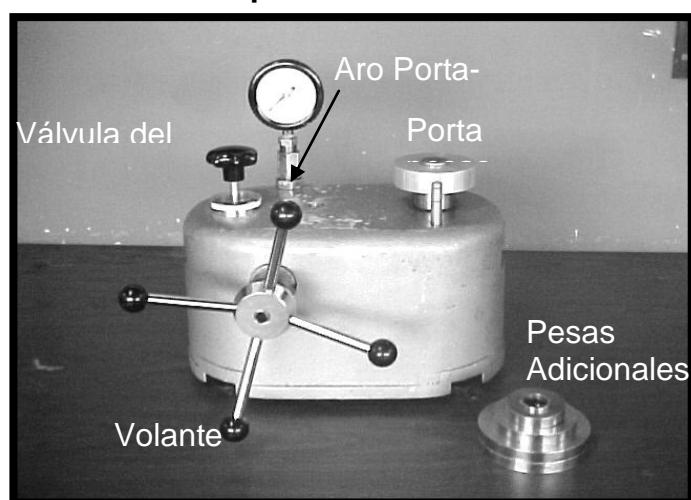
- a) Usando el banco calibrador a pesas: antes de instalar el manómetro en el banco, debe purgarse el mismo, es decir; expulsar el aire contenido en el sistema hidráulico del equipo. Para ello, se tapa con la palma de la mano el aro porta-manómetro, gire la válvula del depósito de aceite en sentido anti-horario (dos vueltas), extraiga totalmente el volante, cierre la válvula, quite la palma de la mano del aro porta-manómetro y gire el volante en sentido horario (no más de tres vueltas) hasta que el aceite salga por el aro porta-manómetro.

Ahora se procede a instalar el manómetro, si la aguja indicadora se desplaza, es necesario abrir y cerrar la válvula del depósito para dejar salir el excedente de aire. Para tomar la primera lectura, proceda a colocar en el platillo porta-pesas un peso que ejerza una *presión nominal*, adecuada al rango de presiones del manómetro y gire el volante en sentido horario en forma lenta y uniforme hasta elevar el platillo porta-pesas entre las marcas de referencia del banco. En este momento puede leerse un valor de *presión en el manómetro* y puede calcular el porcentaje de error de la siguiente forma:

$$\% \text{Error} = \left(\frac{P_{\text{MANÓMETRO}}}{P_{\text{NOMINAL}}} \right) \cdot 100$$

Para realizar más pruebas es necesario abrir la válvula del depósito de aceite, extraer el volante, incrementar la presión nominal colocando un mayor peso y repetir el procedimiento ya señalado, calculando para cada medición el porcentaje de error.

Figura 2. Banco calibrador de pesas.

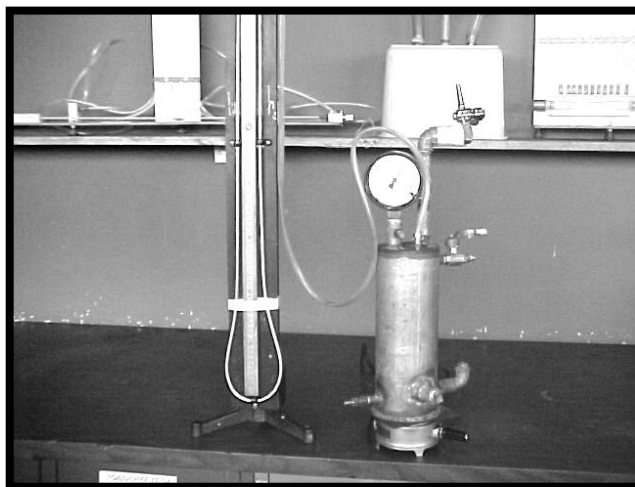


Fuente: Extraído de www.topoequipos.com.

b) Usando el calderín: para hallar el porcentaje de error del manómetro de Bourdon ubicado en el calderín, se cierra la válvula de escape del vapor, después que se ha calentado suficientemente el calderín. Cuando la presión indicada por el manómetro es 0,1 bar, se leen las alturas h_1 y h_2 del manómetro de tubo en “U” con mercurio. Con estas alturas y el peso específico del mercurio puede hallarse, usando la ecuación de la hidrostática, la presión nominal. Debe continuarse el procedimiento para presiones del manómetro de Bourdon de 0,2 ,0,3 ,0,4 y 0,5 bar.

Para cada una de las mediciones se debe calcular el porcentaje de error del manómetro de Bourdon. Si el manómetro instalado en el calderín permite medir también presiones de vacío (manométricas negativas), deje escapar un poco de vapor e introduzca el calderín en un recipiente con agua para obtener del manómetro (en este caso vacuómetro) una presión de vacío. Registre los valores de h_1 y h_2 , y calcule el porcentaje de error del vacuómetro.

Figura 3. Calderín y manómetro de tubo en “U”.



Fuente: Extraído de www.topoequipos.com.

2.1.5. Clasificación de instrumentos de presión

Los instrumentos de presión se clasifican en tres grupos:

- Mecánicos
- Neumáticos
- Electromecánicos y electrónicos.

2.1.5.1. División de los elementos mecánicos

2.1.5.1.1. Elementos primarios de medida directa

Es aquel que detecta el valor de salida, o sea, es la porción de los medios de medición que primero utiliza o transforma la energía del medio controlado. Los elementos primarios de medición más comunes para la medición de presión son fuelles y las columnas de mercurio.

2.1.5.1.2. Elementos primarios elásticos

Se deforman por la presión interna del fluido que contienen. Los elementos primarios elásticos más empleados son: el tubo Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle.

2.1.5.1.3. Bourdon

Es un tubo de sección elástica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón.

La ley de deformación del tubo Bourdon es bastante compleja y ha sido determinada empíricamente a través de numerosas observaciones y ensayos en varios tubos. El material empleado normalmente en el tubo Bourdon es de acero inoxidable, aleación de cobre ó aleaciones especiales.

2.1.5.1.4. El elemento en espiral

Se forma arrollando el tubo Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común, y el helicoidal arrollando más de una espira en forma de hélice. Estos elementos proporcionan un desplazamiento grande del extremo libre y por ello, son ideales para los registradores.

2.1.5.1.5. El diafragma

Consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada cápsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos es amplificada por un juego de palancas. El sistema se proyecta de tal modo que, al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medición lo más amplio posible con un mínimo de histéresis y de desviación permanente en el cero del instrumento. El material del diafragma es normalmente aleación de níquel. Se utiliza para pequeñas presiones.

2.1.5.1.6. El fuelle

Es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente, y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable.

Hay que señalar que los elementos de fuelle se caracterizan por su larga duración, demostrada en ensayos en los que han soportado sin deformación alguna millones de ciclos de flexión. El material empleado para el fuelle es usualmente bronce fosforoso y el fuelle es tratado térmicamente para mantener fija su constante de fuerza por unidad de compresión. Se emplean para pequeñas presiones.

2.1.5.2. El sistema neumático

La función de medida queda establecida por el campo de medida del elemento. Utiliza componentes de elementos mecánicos, consiste en un transmisor de equilibrio de fuerzas de tubo Bourdon mientras que uno de 3-15 psi será de equilibrio de movimientos con elementos de fuelle.

2.1.5.3. Los elementos electromecánicos-electrónicos

Utiliza elementos mecánicos Elásticos combinado con un traductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente.

2.1.5.4. Elemento electrónico

Ocupa los mismos componentes que el electromecánico, su medición ejerce una fuerza sobre una barra rígida del transmisor, la señal pasa a un circuito de realimentación variando, la corriente de salida en forma proporcional al intervalo de presiones de proceso.

2.2. Escala

La escala debe estar diseñada y arreglada de tal manera que los valores medidos puedan ser reconocidos con facilidad y claridad. Las pruebas deben ser llevadas a cabo por inspección visual.

2.2.1. Primera marca de la escala

La graduación debe comenzar con la primera marca de escala en 0 kPa (0 MPa). Las pruebas deben ser llevadas por inspección visual.

Figura 4. Ejemplo de escala de un manómetro industrial



Fuente: es.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=getProduct.

2.2.2. Intervalo de escala

El intervalo de la escala debe ser:

- Para manómetro patrón de subdivisión de 0,1 kPa marca HEISE, con rango de medición de 0 a 100 kPa. La escala es de 10 kPa en 10 kPa para escalas graduadas en kPa.

- Para manómetro patrón de subdivisión de 0,002 MPa marca HEISE, con rango de medición de 0,0 a 2,0 MPa. La escala es de 0,2 MPa en 0,2 MPa para escalas graduadas en MPa.
- Para manómetro patrón de subdivisión de 0,05 MPa marca HEISE, con rango de medición de 0 a 40 MPa. La escala es de 4 MPa en 4 MPa para escalas graduadas en MPa.
- Para manómetro patrón de subdivisión de 0,1 MPa marca HEISE, con rango de medición de 0 a 60 MPa. La escala es de 6 MPa en 6 MPa para escalas graduadas en MPa.

Cada marca de escala debe ir indicada por una longitud mayor a las demás.

Las pruebas deben ser llevadas a cabo por inspección visual.

2.2.3. Grosor de las marcas de escala

El grosor de las marcas de escala no debe exceder un 20% del espaciamiento menor, entre marcas de escala. Todas las marcas de escala deben ser del mismo grosor. Las pruebas deben ser llevadas por inspección visual.

2.2.4. Marca de escala en cero

Sí se muestra una zona de tolerancia en cero, no debe exceder los $\pm 0,05$ kPa ó $\pm 0,1$ MPa y debe estar claramente marcada. Una marca de escala en cero debe estar indicada.

Nota: las graduaciones con zonas de tolerancia son opcionales. Las pruebas deben ser llevadas a cabo por inspección visual.

2.2.4.1. Cero

El movimiento del elemento sensor elástico, incluyendo el apuntador no debe estar obstruido entre 0,5 kPa bajo cero. El apuntador no debe ser ajustado por el usuario. Las pruebas deben ser llevadas a cabo por inspección visual.

2.2.5. Apuntador

El apuntador debe cubrir entre 1/3 y 2/3 de la longitud de la marca de escala más corta, de toda la escala. En el lugar de indicación no debe ser más gruesa que la marca de escala. La distancia entre el apuntador y el dial, no debe exceder de 3 mm. Las pruebas deben ser llevadas a cabo por inspección visual.

2.3. Error de Histéresis

El error de histéresis a lo largo del rango de presión, debe estar entre el rango de 1% de la escala del manómetro patrón. Las pruebas deben ser llevadas a cabo por inspección visual.

2.4. Metrología

La Metrología es la ciencia de la medición que constituye una parte esencial y en muchos casos crítica, de la infraestructura de todos los sistemas de calidad. La Metrología, en resumen, es un conjunto de actividades cuyo objetivo final es el de mejorar y garantizar la calidad de productos y servicios, destinada a:

- Facilitar el intercambio y el comercio internacional, incrementando la confianza en el comercio y facilitando la competitividad en el mercado mundial.
- Proporcionar protección a los consumidores, protegiéndolos de fraudes derivados de mediciones incorrectas.
- Respalda el control de calidad, estimulando la calidad de los productos agrícolas, mineros e industriales.
- Garantizar el control de la seguridad en la industria y la sociedad, previniendo accidentes ocasionados por explosiones, radiación, etc.

La metrología según su campo de aplicación se divide en: metrología científica, metrología industrial y metrología legal. Cada una de estas ramas tiene una función especial de apoyo a los diferentes sectores de la sociedad.

- La metrología científica: define, mantiene y crea unidades de medida.
- La metrología industrial: es aquella que se relaciona con la industria y el comercio. Esta persigue promover la competitividad a través de la permanente mejora de las mediciones que inciden en la calidad del producto.
- La metrología legal: es la que realiza el Estado de la República, para verificar que lo indicado por el fabricante, el comerciante o la institución que proporciona un servicio, cumple con los requerimientos técnicos y jurídicos que han sido reglamentados y que garantizan la exactitud al consumidor final de los bienes ofertados o de los aparatos utilizados en la medición.

2.4.1. Base legal de la metrología en Guatemala

El Centro Nacional de Metrología en Guatemala fue establecido por el Acuerdo Gubernativo 57-2003 del 7 de marzo del año 2003, que modifica el Artículo 11 del Acuerdo Gubernativo 182-2000 del 12 de mayo de 2000, como una unidad de la Dirección del Sistema Nacional de Calidad, conformado por el Laboratorio Nacional de Metrología y la Unidad de Inspección y Verificación en materia de metrología legal que corresponde al Ministerio de Economía y Desarrollo.

2.4.1.1. Sistema Interamericano De Metrología

El Centro Nacional de Metrología de Guatemala es miembro del Sistema Interamericano de Metrología -SIM en la Sub-región CAMET, la cual está integrada por El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Belice y Guatemala. El cual fue creado para promover la cooperación internacional, particularmente la Interamericana y regional en metrología.

Los países participantes son miembros de la Organización de Estados Americanos. El -SIM- está organizado por cinco sub regiones, NORAMET, CARIMET, CAMET, ANDIMET y SURAMET.

2.4.1.2. Laboratorio Nacional de Metrología

El Laboratorio Nacional de Metrología en Guatemala se encuentra ubicado en el interior de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, 24 Calle 21-12, Zona 12. Inició a prestar servicios el 16 de agosto de 2 001 en las magnitudes; masa gruesa, masa fina y termometría.

2.4.2. Historia de la metrología

Desde épocas antiguas el hombre ha visto la necesidad de crear medidas que satisfagan las exigencias de sus desempeños diarios incluyendo en ello el intercambio comercial y por consiguiente ha inventado formas de entenderse con los demás, con fines de supervivencia. Surgiendo así las primeras unidades de tipo antropológico.

Con el tiempo se observó que este tipo de medidas eran muy variables, necesitando unificarlas mediante unidades de medida patrón materializadas, las cuales fueron conservadas cuidadosamente como elementos de referencia para dilucidar cualquier diferencia e incluso en algunos pueblos se consideraron como joyas públicas, que se fueron desarrollando en la búsqueda de una medida estable y universalmente reproducible; es así como nacieron los primeros conceptos que sirvieron de base a la metrología.

El inicio de la metrología como se conoce en la actualidad, surge después de la revolución francesa con el decreto por parte de la Asamblea Nacional Francesa, en donde se instituye su sistema nacional de pesas y medidas con la nomenclatura de sus unidades, los múltiplos y submúltiplos.

Un hecho de crucial importancia en la historia del desarrollo de las unidades de medida fue el establecimiento del Sistema Métrico. En 1790 el gobierno francés ordenó a la directiva de la Academia Francesa de ciencias estudiar y proponer un sistema único de pesas y medidas para reemplazar todos los sistemas existentes.

Los científicos franceses decidieron como *Primer Principio*, que un sistema universal de pesas y medidas no debería depender de patrones hechos por el hombre, sino basarse en medidas permanentes provistas por la naturaleza. Por consiguiente, se escogió como unidad de longitud al metro, definiéndolo como la diezmillonésima parte de la distancia desde el polo al Ecuador a lo largo del meridiano que pasa a través de París.

Como unidad de masa, escogieron la masa de un centímetro cúbico de agua destilada a 4 °C, a la presión atmosférica normal (760 mmHg) y le dieron el nombre de gramo. Para la tercera unidad, la unidad de tiempo, decidieron emplear el segundo tradicional, definiéndolo como 1/86 400 del día solar medio.

Como *Segundo Principio*, decidieron que todas las otras unidades se deberían derivar de las tres unidades fundamentales; longitud, masa y tiempo.

El *Tercer Principio* indicaba que los múltiplos y submúltiplos de las unidades básicas fueran en el sistema decimal, diseñando el sistema de prefijos que se utiliza actualmente. Las propuestas de la Academia Francesa fueron aprobadas e introducidas como el Sistema Métrico de Unidades de Francia en 1 795.

El sistema métrico despertó considerable interés en otras partes del mundo; y finalmente en 1 875, 17 países firmaron la llamada Convención del Metro, adoptando legalmente el sistema métrico de unidades.

Sin embargo, aunque Gran Bretaña y Estados Unidos, firmaron la convención, reconocieron su legalidad únicamente en transacciones internacionales y no aceptaron el sistema métrico para uso doméstico.

Con el transcurso del tiempo se desarrollaron otros sistemas de unidades como fueron; el sistema CGS (centímetro-gramo-segundo) o sistema absoluto de unidades, utilizado por los físicos de todo el mundo y el sistema Giorgio conocido como el sistema MKSA de unidades (metro-kilogramo-segundo-ampere).

Finalmente, fue en 1960 que la Décimo Primera Conferencia General de Pesas y Medidas creó, con la resolución 12, el Sistema Internacional de Unidades (SI), basado en el metro, el kilogramo, el segundo, el ampere, el kelvin, la candela y el mol.

En este Sistema (SI) las unidades de medida se dividen en tres grupos:

- 1) Las unidades fundamentales, que son aquellas que no se componen de otras unidades.
- 2) Las unidades complementarias que son las que no se derivan de una magnitud física, pero son necesarias para su comprensión.
- 3) Las unidades derivadas que son todas las que se componen de dos o más unidades fundamentales.

De lo expuesto se comprende la importancia que tiene conocer los diferentes aspectos relacionados con el uso correcto del SI para expresar los resultados obtenidos en las mediciones de las diversas magnitudes físicas.

Debido a la importancia que este tiene, el 27 de diciembre de 1982, por acuerdo Gubernativo 294-82, entra en vigencia para Guatemala, al ser publicada en el Diario Oficial la Norma Obligatoria COGUANOR NGO 4010 Sistema Internacional de Unidades, que establece el uso obligatorio del mismo y su aplicación en todo el territorio nacional.

2.5. Escalas de Medición

La idea de medición es intrínsecamente comparativa. Medir algo, en el caso más sencillo, es determinar cuántas veces una cierta unidad o patrón de medida, cabe en el objeto a medir.

Medir es un concepto complejo implica realizar una serie de operaciones, que no tienen lugar en el caso de variables como el peso o la longitud; será necesario definir las dimensiones que integran la variable, encontrar indicadores diversos que la reflejen y construir luego una escala apropiada para el caso.

Una escala puede concebirse como un continuo de valores ordenados correlativamente, que admite un punto inicial (ejemplo cero) y otro final. Para que una escala pueda considerarse como capaz de aportar información objetiva, debe reunir los dos siguiente requisitos básicos:

- a. **Confiabilidad:** se refiere a la consistencia interior de la misma, a su capacidad para discriminar en forma constante entre un valor y otro. Cabe confiar en una escala –anotan Goode y Hatt- cuando produzca constantemente los mismos resultados al aplicarla a una misma muestra, es decir, cuando siempre los mismos objetos aparezcan valorados en la misma forma.
- b. **Validez:** indica la capacidad de la escala para medir las cualidades, para las cuales ha sido construida y no otras parecidas. Una escala confusa no puede tener validez, lo mismo que en una escala que esté midiendo, a la vez e indiscriminadamente, distintas variables superpuestas. *Una escala tiene validez cuando verdaderamente mide lo que afirma medir.*

Existen diferentes tipos de escalas que se distinguen de acuerdo a la rigurosidad con que han sido construidas y al propio comportamiento de las

variables que miden. Se acostumbra a clasificarlas en cuatro tipos generales que son los siguientes: escalas nominales, ordinales, de intervalos iguales y de cocientes o razones.

2.5.1. Escalas nominales

Son aquellas en que sólo se manifiesta una equivalencia de categorías entre los diferentes puntos que asume la variable. Es como una simple lista de las diferentes posiciones que pueda adoptar la variable, pero sin que en ella se defina ningún tipo de orden o de relación.

2.5.2. Las escalas ordinales

Distinguen los diferentes valores de la variable jerarquizándolos simplemente de acuerdo con un rango. Establecen que existe una graduación entre uno y otro valor de la escala, de tal modo que cualquiera de ellos es mayor que el precedente y menor que el que le sigue a continuación. Sin embargo la distancia entre un valor y otro no queda definida sino que es indeterminada.

En otras palabras, tales escalas esclarecen solamente el rango que las distintas posiciones guardan entre sí.

2.5.3. Las escalas de intervalos iguales

Tienen las características de que la distancia entre sus intervalos está claramente determinada y que estos son iguales entre sí, para este caso kPa o MPa.

2.5.4. Escala de cocientes

Llamadas también de razones, en ellas se conservan todas las propiedades de los casos anteriores, pero además se añade la existencia de un valor cero real, con lo que se hacen posibles ciertas operaciones matemáticas, tales como la obtención de proporciones y cocientes. Esto quiere decir que un valor de 20 en una escala de este tipo, es el doble de un valor de 10, o de las dos terceras partes de un valor de 30.

2.6. Instrumentos de medición

Un instrumento de recolección de datos es, en principio, cualquier recurso que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información; para este caso el instrumento de medición será el manómetro (medidor de presión industrial). La forma del instrumento se refiere al tipo de aproximación que establecemos con lo empírico, a las técnicas que utilizamos para esta tarea.

Si en una investigación los instrumentos son defectuosos se producirán, inevitablemente, algunas de las dificultades siguientes; o bien los datos recogidos no servirán para satisfacer los interrogantes iniciales o bien se podrán obtener los datos que necesitamos, o vendrán falseados y/o distorsionados, porque el instrumento no se adecua al tipo de hechos en

estudio. En ambos casos habrá, seguramente, uno o varios errores en las etapas anteriores del proceso de investigación. Será entonces necesario volver hacia atrás y revisar las diferentes tareas realizadas, hasta alcanzar una mejor aproximación al problema.

Para evitar datos insatisfactorios en el trabajo de calibración de los manómetros a realizar en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, y en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, primeramente se procederá a la limpieza y compostura de los instrumentos de medición antes mencionados, así se verificará que todo el sistema funcione de forma adecuada y seguidamente se procederá a la calibración y recolección de datos.

2.6.1. Calibración

Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento o sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud, realizados con los patrones.

El objeto de la calibración es eliminar o minimizar el error sistemático en un sistema de medida.

2.6.2. Patrón

Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o varios valores de una magnitud, para que sirvan de referencia.

Es política de los laboratorios de Metrología, asegurar sin excepción, que los patrones de referencia, patrones de trabajo e instrumentos patrón y de medición, se mantengan siempre calibrados y trazables a patrones nacionales, los cuales ya han sido certificados.

Por lo que se refiere a calidad, basta decir que sus atributos pueden referirse a: la precisión, la exactitud, la estandarización y su valor relativo de comparabilidad. Para la calibración de los manómetros industriales, la actividad se realizará con un comparador patrón adecuado de presión el patrón marca HEISE. Con este se podrán calibrar manómetros industriales, realizándolo con diferentes rangos y puntos de presión, todo ello en unidades de medición en kilo pascales y mega pascales.

2.6.2.1. Patrón primario

Patrón que es designado o ampliamente reconocido como poseedor de las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor se acepta sin referirse a otros patrones de la misma magnitud.

El concepto de patrón primario es válido tanto para las magnitudes básicas como para las derivadas.

2.6.2.2. Patrón de referencia

Patrón, en general, de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar dado o en una organización determinada, del cual se derivan las mediciones efectuadas en dicho lugar.

2.6.2.3. Patrón de trabajo

Patrón que se utiliza corrientemente para calibrar o controlar medidas materializadas, instrumentos de medición o materiales de referencia.

Nota: un patrón de trabajo es habitualmente calibrado con un patrón de referencia. Un patrón de trabajo utilizado corrientemente para asegurar que las medidas están realizadas correctamente se denomina patrón de control.

2.7. Trazabilidad

Propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con referencias determinadas, generalmente a patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo todas las incertidumbres determinadas.

2.8. Precisión

Se refiere a las unidades de la escala que mide, a más fino más preciso.

2.9. Exactitud

Se refiere a la posibilidad de acertar a lo real o verdadero. Dado que los niveles de presión siempre están cambiando, sea por el tipo de operación con los diferentes fluidos utilizados. Repitiendo las lecturas más veces, mayor probabilidad habrá de aproximarse al valor verdadero. La exactitud es revelada por la tendencia central de las mediciones.

2.10. Estandarización

Consiste en aplicar rigor a la metodología para procurar las mismas circunstancias en cada medición efectuada; lo ideal es que sólo varíe el tiempo.

Con este procedimiento se cancela el efecto de variabilidad de la medición, que introduce la imperfección del método.

Los errores sistemáticos de diversas fuentes (también llamados tropiezos del proceso de medición) no se nulifican pero su valor se cancela, al hacerlo siempre del mismo modo, uniformemente. Los errores que afectan la lectura proceden de tres fuentes: el observado, el instrumento, el observador. La comparabilidad del método se refiere al atributo de calidad que adquiere el resultado de la medición, si ésta se hizo con el método estándar. El valor puede ser comparado con cifras obtenidas por el mismo método.

2.11. Incertidumbre en las mediciones

La incertidumbre de una medición está asociada generalmente a su calidad. Es la duda que existe respecto del resultado de dicha medición. Se puede pensar que las reglas graduadas están bien hechas, que los manómetros deben ser veraces y dar resultados correctos. Sin embargo en toda medición, aún en las más cuidadosas, existe siempre un margen de duda.

2.11.1. Expresión de la incertidumbre de medición

Dado que existe siempre un margen de duda en cualquier medición, se debe conocer cuán grande es ese margen. Por esto es que se necesitan dos números para cuantificar una incertidumbre.

Uno es el ancho de ese margen, llamado *intervalo*, el otro es el *nivel de confianza* que establece cuan seguro está el “valor verdadero” y que cae dentro de ese margen. Es importante diferenciar los términos *error* e incertidumbre.

2.11.2 Error

Es la diferencia entre el valor medido y el valor convencionalmente verdadero, del objeto que se está midiendo.

2.11.3 Incertidumbre

Es la cuantificación de la duda que se tiene sobre el resultado de la medición. Cuando sea posible se trata de corregir los errores conocidos. Cualquier error que no se conozca su valor es una fuente de la incertidumbre ¿De dónde provienen los errores y las incertidumbres?, muchas cosas pueden influir en una medición, las causas pueden ser visibles o invisibles. Como las mediciones reales no se hacen en condiciones perfectas, los errores y las incertidumbres puede provenir de:

El instrumento de medición, los instrumentos pueden tener errores como una tendencia a dar resultados mayores o menores, cambios por envejecimiento, desgastes u otras derivas, mala repetitividad, ruido en los instrumentos eléctricos y muchos otros problemas funcionales.

El proceso de medición, la medición en sí misma puede ser difícil de hacer.

Incertidumbres “importadas”, la calibración de los instrumentos tienen incertidumbres, que contribuyen a la incertidumbre de la medición que se hace con ellos.

Habilidad del operador, algunas mediciones dependen mucho de la habilidad y juicio del operador. Una persona puede ser mejor que otra en el trabajo delicado de ajustar un instrumento u obtener visualmente una lectura fina.

El uso de un instrumento, tal como un cronómetro, depende del tiempo de reacción de cada operador. Pero los errores groseros son de una naturaleza diferente y no deben tomarse en cuenta como incertidumbres. El alineamiento visual es una cualidad del operador.

2.11.4. ¿Qué no son incertidumbres de medición?

Las equivocaciones que cometen los operadores no son incertidumbres de medición, son errores groseros, no deben tomarse en cuenta para calcular las incertidumbres. Deben evitarse trabajando cuidadosamente y mediante la aplicación de los controles adecuados.

Las *tolerancias* no son incertidumbres, son los límites de aceptación que se han elegido para un proceso o un producto.

Las *especificaciones* no son incertidumbres, estas indican lo que se espera de un producto. Las especificaciones pueden tener un alcance amplio, incluso cualidades no técnicas, como el aspecto.

Los *errores* no son incertidumbres, aunque en el pasado se tomaban como equivalentes, en frases tales como “análisis de error”.

El *análisis estadístico* no es lo mismo que el análisis de la incertidumbre.

La estadística puede usarse para establecer un sin número de conclusiones que no tienen que ser acerca de incertidumbres. El análisis de la incertidumbre solamente utiliza una parte de la estadística.

2.11.5. ¿Cómo calcular la incertidumbre de las mediciones?

Para calcular la incertidumbre de las mediciones, se debe identificar primero las fuentes de las incertidumbres, luego estimar la influencia de cada una de esas fuentes de incertidumbre.

Finalmente se deben combinar las incertidumbres individuales para obtener la incertidumbre global, llamada incertidumbre *combinada*.

Existen reglas claras para establecer los factores de influencia y combinarlos.

2.11.5.1. Las dos formas de estimar las incertidumbres

Independientemente de las fuentes de las incertidumbres, hay dos aproximaciones para estimarlas: estimaciones del *tipo A* y del *tipo B*. En la mayoría de los casos se necesitan las evaluaciones de los dos tipos.

Evaluaciones tipo A, la estimación de la incertidumbre se hace utilizando métodos estadísticos, normalmente a partir de mediciones repetidas.

Evaluaciones tipo B, la estimación de la incertidumbre se obtiene de otras informaciones. Estas informaciones pueden provenir de experiencias previas con otras mediciones, de certificados de calibración, de las especificaciones de los fabricantes, de cálculos, de informaciones publicadas y del sentido común.

Existe la presunción que las incertidumbres del tipo A son al azar y las del tipo B son sistemáticas, pero esto no es absolutamente cierto.

2.12. Condiciones ambientales

La temperatura, presión atmosférica, humedad en el ambiente y otras condiciones pueden afectar al instrumento de medida o al objeto que se mide. Cuando el valor y efecto de un error es conocido, por ejemplo el indicado en el certificado de calibración, se puede aplicar una *corrección* al resultado de la medición.

Pero, en general, las incertidumbres provenientes de las distintas fuentes, deben considerarse como factores individuales que contribuyen a la incertidumbre combinada de las mediciones.

2.13. Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1993.

Esta norma establece las principales características técnicas y metrológicas que son obligatorias para los medidores de presión, medidores de vacío y medidores de vacío-presión con elementos sensores elásticos e indicación indirecta, con el propósito de medir la presión y/o presión de vacío de los líquidos, vapores y gases en los instrumentos de medición.

Esta norma especifica los requisitos impuestos por la metrología legal para instrumentos, en los cuales la secuencia de medición mecánica transmite directamente la deformación elástica del elemento sensor hacia el dispositivo indicador.

Este último tiene un índice y una escala graduada en unidades legales de presión. Esta norma es aplicable a los instrumentos en los que el límite superior del alcance de medición está entre 0,05 MPa y 1 000 MPa.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

3.1.1. Independientes

Presión atmosférica (0,84 atm ó 640 mmHg).

Temperatura ambiente.

3.1.2. Dependientes

Presión manométrica.

3.1.3. Parámetros fijos

T Temperatura a 20 °C – 23 °C.

Hr Humedad Relativa \geq 50%.

Dependiendo del rango del manómetro a calibrar se seleccionó el manómetro patrón, con el rango adecuado y con ambos instrumentos de medición acoplados al banco de manometría, se realizarán dos corridas a compresión y dos a descompresión.

3.2. Recursos humanos disponibles

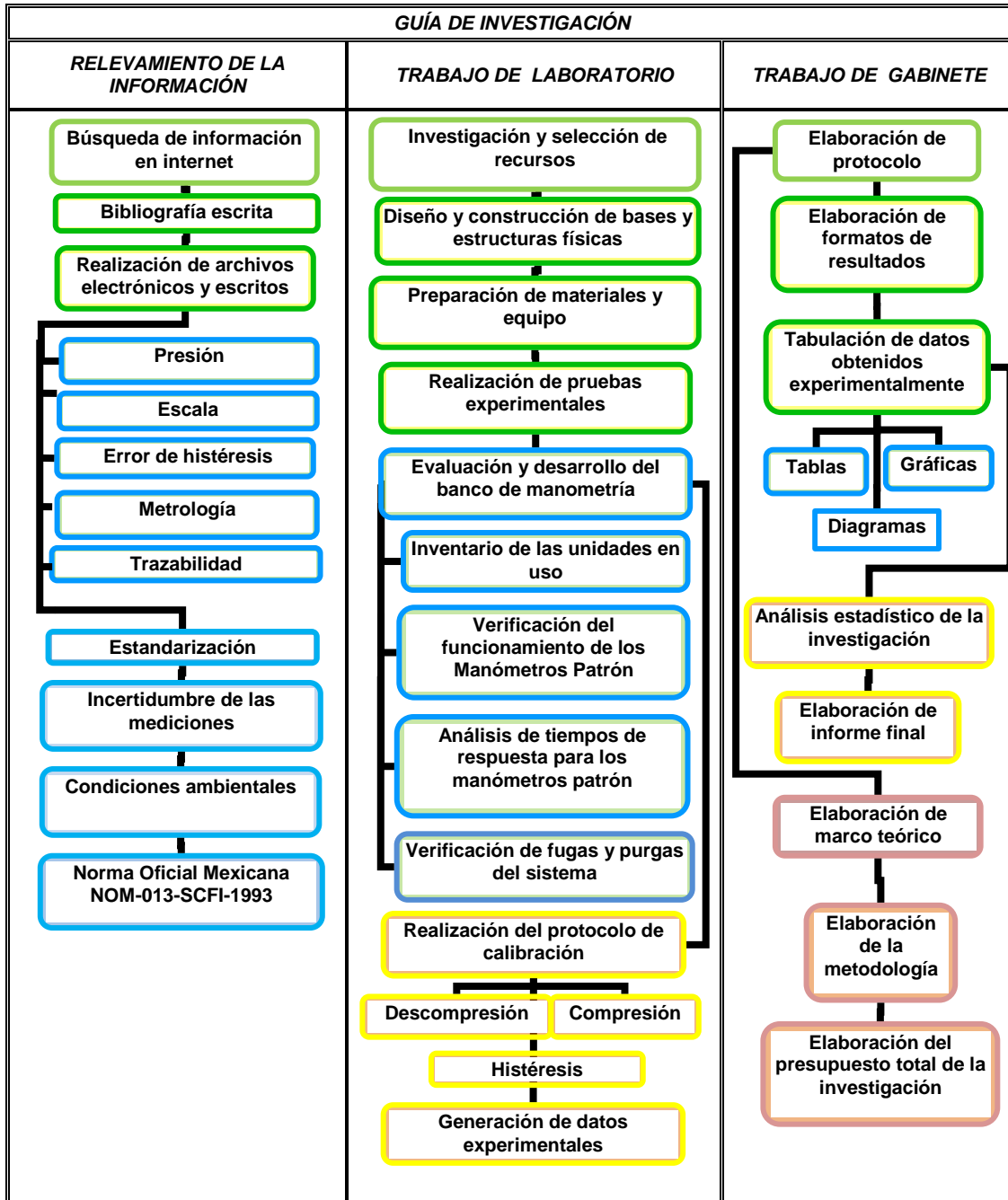
Investigador: Carlos Ernesto Martínez Lira.

Asesor: Ing. César Alfonso García Guerra.

Colaboración: Ing. Mercedes Esther Roquel.

3.3. Delimitación del campo de estudio

Figura 5. Flujoograma de la metodología para el proceso de calibración de manómetros industriales



3.4. Recursos materiales disponibles

Mesa de acero inoxidable adecuada para la instalación de la bomba de comparación, para realizar trabajos in situ y permitir el transporte adecuado de los manómetros patrón con sus accesorios en compartimientos adecuados (Proyecto CTCAP/SENACYT-10-11-2004).

Figura 6. Mesa de acero inoxidable



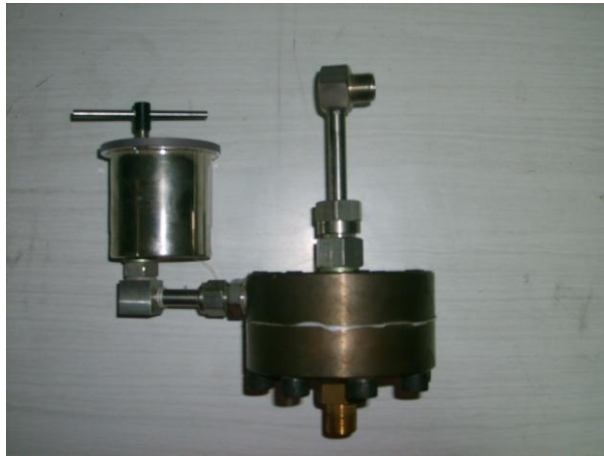
Bomba de comparación para proveer presión hidráulica (Proyecto CTCAP/SENACYT-10-11-2004).

Figura 7. Bomba para proveer presión hidráulica



Unidad auxiliar de transmisión de presión, éste consiste en un sistema tipo diafragmático adecuado para instrumentos a calibrar. Rango de operación hasta 8 000 psi y adecuado para diversos fluidos (aceite mineral, aceite vegetal, agua, alcohol, etc.) (Proyecto CTCAP/SENACYT-10-11-2004).

Figura 8. Unidad auxiliar de transmisión de presión



Set de accesorios de conexión tipo BSP de los manómetros a la bomba de comparación (Proyecto CTCAP/SENACYT-10-11-2004). Consiste en adaptadores de acero que incluyen las especificaciones siguientes:

Figura 9. Set de accesorios BSP.

- a) de 1/4BSP M x 1/8BSP F,
- b) de 1/4BSP M x 3/8BSP F,
- c) de 1/4BSP M x 1/2BSP F,
- d) de 1/4BSP M x 1/4BSP M,
- e) de 1/4BSP M x 1/8BSP M,
- f) de 1/4BSP M x 1/4BSP F,
- g) de 3/8BSP M x 1/4BSP F.



Set de accesorios de conexión tipo NPT de los manómetros a la bomba de comparación (Proyecto CTCAP/SENACYT-10-11-2004). Consistente en adaptadores de acero inoxidable que incluyen las especificaciones:

Figura 10. Set de accesorios NPT.

- a) de 1/4NPT M x 1/8NPT F,
- b) de 1/4NPT M x 3/8NPT F,
- c) de 1/4NPT M x 1/2NPT F,
- d) de 1/4NPT M x 1/4NPT M,
- e) de 1/4NPT M x 1/8NPT M,
- f) de 1/4NPT M x 1/4NPT F.



Manguera hidráulica para altas presiones. Rango de presión máxima de trabajo requerido 10 000 psi, presión de colapso 35 000 psi. Rango de temperatura de uso -20 °C a +80 °C. Construcción en multicapas de nylon y de acero inoxidable (Proyecto CTCAP/SENACYT-10-11-2 004).

Figura 11. Manguera hidráulica



Cuatro manómetros patrón de referencia, marca HEISE y con rangos de medición de:

- a) Rango de 0 a 100 kPa.
- b) Rango de 0 a 2,0 MPa.
- c) Rango de 0 a 40 MPa.
- d) Rango de 0 a 60 MPa.

Figura 12. Manómetros patrón marca HEISE



3.5. Técnica cuantitativa

Para la tabulación de los datos obtenidos de la calibración se procederá a utilizar el método estadístico de mínimos cuadrados utilizando para ello los datos de compresión y descompresión al momento de calibrar, en donde se obtendrán datos para realizar la correlación, y así obtener pendientes e interceptos con sus correspondientes desviaciones.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



HOJA DE DATOS PARA EL ENSAYO DE VERIFICACIÓN DE PRESIÓN DE MANÓMETROS INDUSTRIALES PARA EL CENTRO DE INVESTIGACIONES

ESPECIFICACIONES:

/ 2010

No. DE CONTROL DE VERIFICACIÓN:

FECHA: /

00000000

Unidad Ejecutora: CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA

PROCEDENCIA DEL MOMANÓMETRO:

a) Área:

b) sección:

IDENTIFICACIÓN:

TIPO DE MANÓMETRO:

No. De Inventario: _____

Marca:

Modelo:

Serie:

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS:

Característica del Manómetro:

Rango de medición: De _____ a _____ (kPa) ó (MPa)

Divisiones de la escala: Menor: _____ Mayor: _____ (kPa) ó (MPa)

Primera marca de la escala: _____ (kPa) ó (MPa)

REQUERIMIENTOS METROLÓGICOS DE LA VERIFICACIÓN:

Condiciones Ambientales:

Temperatura: _____ °C Humedad Relativa _____ %

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Tabla II. Toma de datos de manómetros industriales, utilizando un manómetro patrón de subdivisión de 0,1 kPa marca HEISE, con rango de medición de 0 a 100 kPa

Presión Nominal kPa.	Primera Lectura		Segunda Lectura	
	Compresión	Descompresión	Compresión	Descompresión
0				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				



Tabla III. Toma de datos de manómetros industriales, utilizando un manómetro patrón de subdivisión 0,002 MPa marca HEISE, con rango de medición de 0 a 2,0 MPa

Presión Nominal MPa.	Primera Lectura		Segunda Lectura	
	Compresión	Descompresión	Compresión	Descompresión
0				
0,2				
0,4				
0,6				
0,8				
1,0				
1,2				
1,4				
1,6				
1,8				
2,0				



Tabla IV. Toma de datos de manómetros industriales, utilizando un manómetro patrón de subdivisión de 0,05 MPa marca HEISE, con rango de 0 a 40 MPa

Presión Nominal MPa.	Primera Lectura		Segunda Lectura	
	Compresión	Descompresión	Compresión	Descompresión
0				
4				
8				
12				
16				
20				
24				
28				
32				
36				
40				



Tabla V. Toma de datos de manómetros industriales, utilizando un manómetro patrón de subdivisión de 0,1 MPa marca HEISE, con rango de medición de 0 a 60 MPa

Presión Nominal MPa.	Primera Lectura		Segunda Lectura	
	Compresión	Descompresión	Compresión	Descompresión
0				
6				
12				
18				
24				
30				
36				
42				
48				
54				
60				

3.8. Análisis estadístico

3.8.1. Análisis de mínimos cuadrados

En donde las matrices están indicadas por los siguientes cálculos:

$$D = \begin{pmatrix} \sum(x_i^2) & \sum x_i \\ \sum x_i & N \end{pmatrix} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Pendiente y la ordenada al origen de mínimos cuadrados.

$$m = \begin{pmatrix} \sum(x_i \cdot y_i) & \sum x_i \\ \sum y_i & N \end{pmatrix} / D \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$b = \begin{pmatrix} \sum(x_i^2) & \sum(x_i \cdot y_i) \\ \sum x_i & N \end{pmatrix} / D \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$d_i = (y_i - mx_i - b) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

y_i = es cada dato de presión del aparato a calibrar.

m = es la pendiente obtenida anteriormente.

b = es el intercepto obtenido anteriormente.

Obteniendo así, el modelo matemático para observar que tanta incertidumbre tiene el equipo a medir:

$$Y = mx + b$$

En donde:

Y = Presión del equipo a calibrar, (kPa) o (MPa).

m = Grado de proporción que tienen los valores medidos con los datos patrón.

b = El intercepto el cual indica que mientras más cercano es a cero, más certeros son los valores obtenidos de la calibración.

3.8.2. Cálculo para la confiabilidad que tienen los parámetros de los mínimos cuadrados

Para estimar las incertidumbres en la pendiente y la ordenada al origen es necesario efectuar un análisis de incertidumbres.

$$\sigma_y = (\sum(d_i^2) / N - 2)^{1/2} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Desviación estándar.

$$\sigma_m^2 = (\sigma_y^2 * N) / D \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Pendiente y la ordenada al origen.

$$\sigma_b^2 = (\sigma_y^2 * \sum(x_i^2) / D) \quad \text{(Ecuación 7)}$$

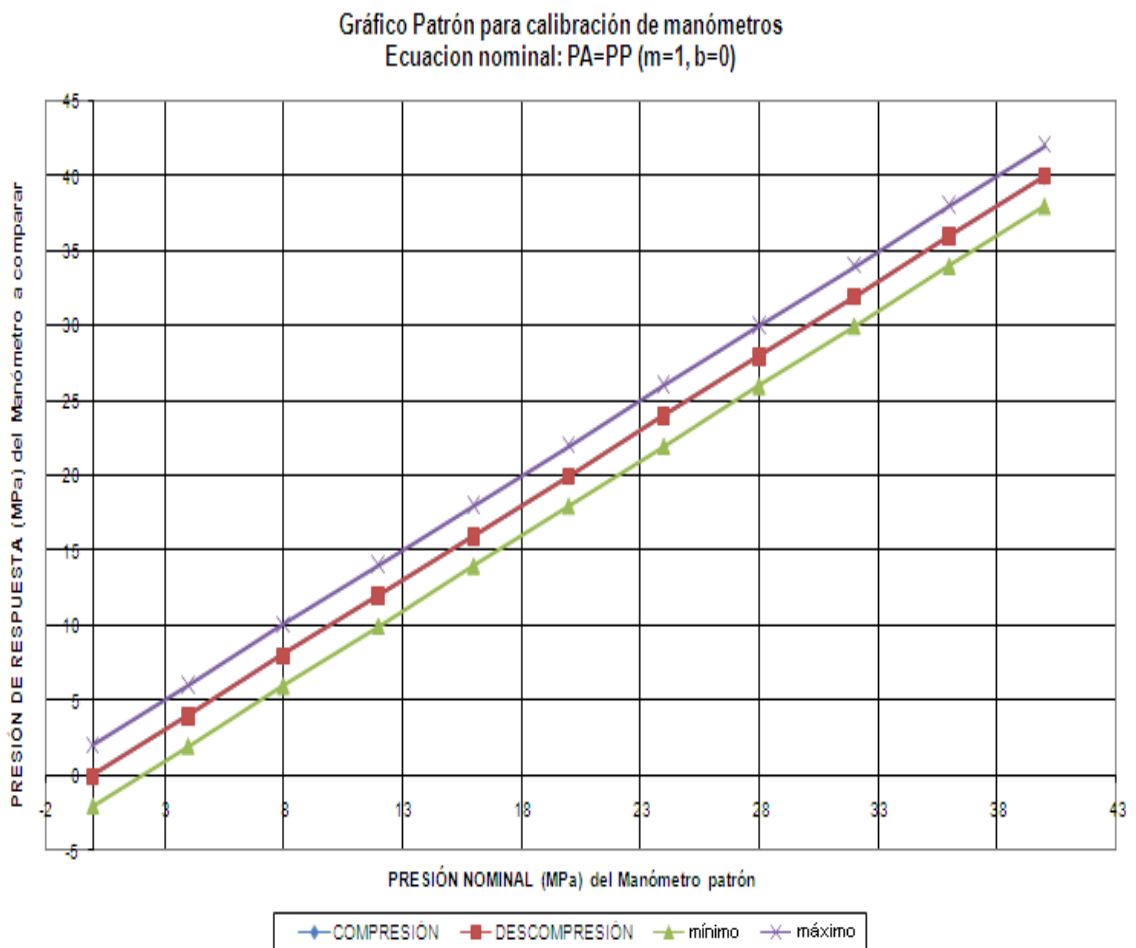


Tabla VII. Cálculo para el análisis de mínimos cuadrados

Determinante (D)	Pendiente (m)	Intercepto (b)	Desviación (σ_y)	Desv. De la pendiente (σ_m^2)	Desv. Del intercepto (σ_b^2)

También se realizará una gráfica para cada manómetro calibrado, por medio de la cual se representará el máximo error permitido lo cual conllevará al diagnóstico metrológico del mismo.

Figura 13. Gráfica nominal de evaluación estimada para una calibración con respuesta exacta e incertidumbre nula, esta gráfica aplica para los cuatro manómetros patrón



3.9. Plan de análisis de los resultados

3.9.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

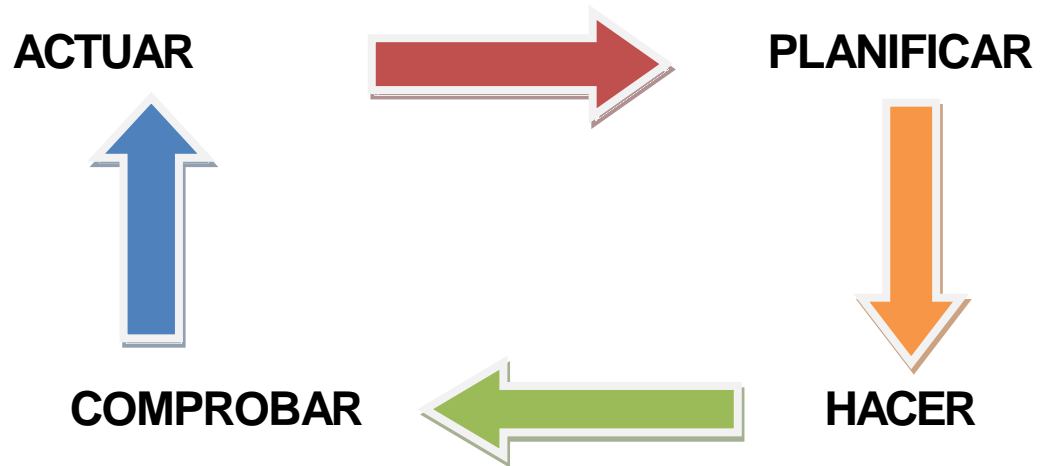
El diseño de la metodología para la evaluación de aptitud de manómetros industriales utilizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, se basó en el flujo de procesos PDCA, (Planificar, Hacer, Comprobar, Actuar) elegido por ser un modelo sencillo y efectivo para el aseguramiento de calidad y con sus “catorce puntos para la gestión”, pretende mostrar la importancia en la competitividad tanto de la instalación del equipo, y del buen funcionamiento del mismo.

1. Crear constancia en el propósito de mejorar.
2. Adaptar y mejorar los recursos del CII.
3. Evitar la inspección masiva de instrumentos.
4. Comprar por calidad, no por precio y estrechar lazos con los proveedores.
5. Mejorar continuamente.
6. Formar y entrenar a los trabajadores para mejorar el desempeño del trabajo.
7. Adoptar e implantar el liderazgo.
8. Eliminar el miedo.
9. Romper las barreras entre departamentos.
10. Eliminar consignas para los operarios, sustituyéndolas por acciones de mejora.
11. Eliminar estándares de trabajo que no son compatibles con la mejora continua.
12. Eliminar las barreras que privan a la gente de estar orgullosa de su trabajo.

13. Estimular a la gente para su mejora personal.

14. Poner a trabajar a todos para realizar esta transformación.

Figura 14. Etapas del ciclo Deming (PDCA)



Fuente: Diplomado general de metrología, Facultad de Ingeniería USAC.

3.9.2. Programas a utilizar para análisis de datos

Se utilizará como herramienta de análisis de datos el programa Microsoft Office Excel, versión 2007.

4. RESULTADOS

Tabla VIII. Evaluación de las observaciones básicas que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1993 para la verificación de la instalación y funcionamiento del manómetro patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 100 kPa

Manómetro patrón con rango de medición 0 a 100 kPa			
Verificación	Desviación máxima	Error máximo permisible	Condición de aptitud
Marca del cero absoluto al inicio y al final de la comparación con otros manómetros.	Todas las mediciones realizadas en manómetros deben de comenzar en cero y terminar en cero.	Compresión y descompresión 0 kPa 0 MPa	Justo lo esperado
Comparación de respuesta del manómetro patrón respecto a manómetros industriales	Los punteros de cada manómetro deben de marcar la misma presión y deben de aumentar la escala a la misma velocidad que se le asigne.	Menor o igual a 5 kPa/minutos.	Justo lo esperado.
Medida de velocidad de acenso y descenso en las presiones de verificación en un período de tiempo establecido.	Cada medida de presión es verificada en un período de 15 minutos debe de presentar una medida de descompresión máxima.	Menor o igual a 90 kPa/minutos.	Justo lo esperado.
Medida de capacidad de descarga rápida de aire contenida en el manómetro y en el sistema	Período mínimo definido para la descarga de aire del sistema como la del patrón.	Se realizan 4 bombeos al pistón sin ejercer presión en un periodo de 20 minutos para purgar el sistema.	Justo lo esperado.
Evaluación de fugas en el sistema como en el manómetro	El manómetro es llevado al 90% de su escala para verificar salidas del fluido hidráulica.	¿Poseen fugas los accesorios o el manómetro patrón?	Justo lo esperado (no hay fugas en todo el equipo).
Verificación de la existencia de un sistema de purga de válvula de seguridad en el manómetro y en el sistema.	La purga es un sistema de seguridad y de limpieza, esta solo puede ser manipulada o retirada con herramienta especial y con sumo cuidado.	¿Posee tapadera de seguridad el manómetro patrón y la bomba para proveer presión?	Justo lo esperado (si posee tapa de seguridad tanto el manómetro como el sistema).
Evaluación de la diferencia entre las lecturas de presión en condiciones de compresión y de descompresión	Cada una de las presiones seleccionadas para la calibración no deben variar entre sí en los manómetros bajo régimen de compresión ni en descompresión	La máxima diferencia de presión permisible debe ser menor o igual a 5 kPa.	Justo lo esperado.

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

Tabla IX. Evaluación de las observaciones básicas que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1993 para la verificación de la instalación y funcionamiento del manómetro patrón marca HEISE, con rango de medición de 0,0 a 2,0 MPa

Manómetro patrón con rango de medición 0.0 a 2.0 MPa			
Verificación	Desviación máxima	Error máximo permisible	Condición de aptitud
Marca del cero absoluto al inicio y al final de la comparación con otros manómetros.	Todas las mediciones realizadas en manómetros deben de comenzar en cero y terminar en cero.	Compresión y descompresión 0 kPa 0 MPa	Justo lo esperado
Comparación de respuesta del manómetro patrón respecto a manómetros industriales	Los punteros de cada manómetro deben de marcar la misma presión y deben de aumentar la escala a la misma velocidad que se le asigne.	Menor o igual a 0.1 MPa/minutos	Justo lo esperado.
Medida de velocidad de ascenso y descenso en las presiones de verificación en un período de tiempo establecido.	Cada medida de presión es verificada en un período de 15 minutos debe de presentar una medida de descompresión máxima.	Menor o igual a 1.9 MPa/minutos	Justo lo esperado.
Medida de capacidad de descarga rápida de aire contenida en el manómetro y en el sistema	Período mínimo definido para la descarga de aire del sistema como la del patrón.	Se realizan 4 bombeos al pistón sin ejercer presión en un periodo de 20 minutos para purgar el sistema.	Justo lo esperado.
Evaluación de fugas en el sistema como en el manómetro	El manómetro es llevado al 90% de su escala para verificar salidas del fluido hidráulica.	¿Poseen fugas los accesorios o el manómetro patrón?	Justo lo esperado (no poseen fugas).
Verificación de la existencia de un sistema de purga de válvula de seguridad en el manómetro y en el sistema.	La purga es un sistema de seguridad y de limpieza, esta solo puede ser manipulada o retirada con herramienta especial y con sumo cuidado.	¿Posee tapadera de seguridad el manómetro patrón y la bomba para proveer presión?	Justo lo esperado (si posee tapa de seguridad tanto el manómetro como el sistema).
Evaluación de la diferencia entre las lecturas de presión en condiciones de compresión y de descompresión	Cada una de las presiones seleccionadas para la calibración no deben variar entre sí en los manómetros bajo régimen de compresión ni en descompresión	La máxima diferencia de presión permisible debe ser menor o igual a 0,05 MPa.	Justo lo esperado.

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

Tabla X. Evaluación de las observaciones básicas que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1993 para la verificación de la instalación y funcionamiento del manómetro patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 40 MPa

Manómetro patrón con rango de medición 0 a 40 MPa			
Verificación	Desviación máxima	Error máximo permisible	Condición de aptitud
Marca del cero absoluto al inicio y al final de la comparación con otros manómetros.	Todas las mediciones realizadas en manómetros deben de comenzar en cero y terminar en cero.	Compresión y descompresión 0 kPa 0 MPa	Justo lo esperado
Comparación de respuesta del manómetro patrón respecto a manómetros industriales	Los punteros de cada manómetro deben de marcar la misma presión y deben de aumentar la escala a la misma velocidad que se le asigne.	Menor o igual a 4 MPa/minutos	Justo lo esperado.
Medida de velocidad de ascenso y descenso en las presiones de verificación en un período de tiempo establecido.	Cada medida de presión es verificada en un período de 15 minutos debe de presentar una medida de descompresión máxima.	Menor o igual a 35 MPa/minutos	Justo lo esperado.
Medida de capacidad de descarga rápida de aire contenida en el manómetro y en el sistema	Período mínimo definido para la descarga de aire del sistema como la del patrón.	Se realizan 4 bombeos al pistón sin ejercer presión en un periodo de 20 minutos para purgar el sistema.	Justo lo esperado.
Evaluación de fugas en el sistema como en el manómetro	El manómetro es llevado al 90% de su escala para verificar salidas del fluido hidráulica.	¿Poseen fugas los accesorios o el manómetro patrón?	Justo lo esperado (no poseen fugas).
Verificación de la existencia de un sistema de purga de válvula de seguridad en el manómetro y en el sistema.	La purga es un sistema de seguridad y de limpieza, esta solo puede ser manipulada o retirada con herramienta especial y con sumo cuidado.	¿Posee tapadera de seguridad el manómetro patrón y la bomba para proveer presión?	Justo lo esperado (si posee tapa de seguridad tanto el manómetro como el sistema).
Evaluación de la diferencia entre las lecturas de presión en condiciones de compresión y de descompresión	Cada una de las presiones seleccionadas para la calibración no deben variar entre sí en los manómetros bajo régimen de compresión ni en descompresión	La máxima diferencia de presión permisible debe ser menor o igual a 2 MPa.	Justo lo esperado.

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XI. Evaluación de las observaciones básicas que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1993 para la verificación de la instalación y funcionamiento del manómetro patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 60 MPa

Manómetro patrón con rango de medición 0 a 60 MPa			
Verificación	Desviación máxima	Error máximo permisible	Condición de aptitud
Marca del cero absoluto al inicio y al final de la comparación con otros manómetros.	Todas las mediciones realizadas en manómetros deben de comenzar en cero y terminar en cero.	Compresión y descompresión 0 kPa 0 MPa	Justo lo esperado
Comparación de respuesta del manómetro patrón respecto a manómetros industriales	Los punteros de cada manómetro deben de marcar la misma presión y deben de aumentar la escala a la misma velocidad que se le asigne.	Menor o igual a 6 MPa/minutos.	Justo lo esperado.
Medida de velocidad de ascenso y descenso en las presiones de verificación en un período de tiempo establecido.	Cada medida de presión es verificada en un período de 15 minutos debe de presentar una medida de descompresión máxima.	Menor o igual a 55 MPa/minutos.	Justo lo esperado.
Medida de capacidad de descarga rápida de aire contenida en el manómetro y en el sistema	Período mínimo definido para la descarga de aire del sistema como la del patrón.	Se realizan 4 bombeos al pistón sin ejercer presión en un periodo de 20 minutos para purgar el sistema.	Justo lo esperado.
Evaluación de fugas en el sistema como en el manómetro	El manómetro es llevado al 90% de su escala para verificar salidas del fluido hidráulica.	¿Poseen fugas los accesorios o el manómetro patrón?	Justo lo esperado (no poseen fugas).
Verificación de la existencia de un sistema de purga de válvula de seguridad en el manómetro y en el sistema.	La purga es un sistema de seguridad y de limpieza, esta solo puede ser manipulada o retirada con herramienta especial y con sumo cuidado.	¿Posee tapadera de seguridad el manómetro patrón y la bomba para proveer presión?	Justo lo esperado (si posee tapa de seguridad tanto el manómetro como el sistema).
Evaluación de la diferencia entre las lecturas de presión en condiciones de compresión y de descompresión	Cada una de las presiones seleccionadas para la calibración no deben variar entre sí en los manómetros bajo régimen de compresión ni en descompresión	La máxima diferencia de presión permisible debe ser menor o igual a 2 MPa.	Justo lo esperado.

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XII. Inventario de los manómetros que pueden ser sujetos de evaluación y su distribución en relación al manómetro patrón que se utiliza

Características de manómetros industriales				Patrón No. 1 (0 a 100) kPa	Patrón No. 2 (0 a 2) MPa	Patrón No. 3 (0 a 40) MPa	Patrón No. 4 (0 a 60) MPa
Número	Ubicación	Tipo de fluido	Inventario No.	Condiciones de uso	Condiciones de uso	Condiciones de uso	Condiciones de uso
1	Centro de Investigaciones	Aceite	8-B-2 210	Aceptado			
2	Centro de Investigaciones	Aceite	E-33-45-150	Aceptado			
3	Laboratorio de Hidráulica	Aceite	-----	No aceptado			
4	Laboratorio de Hidráulica	Aceite	-----	Aceptado			
5	Centro de Investigaciones	Agua	8.3. 01.C./05/4/2 002	Aceptado			
6	Centro de Investigaciones	Agua	8-B-2211	Aceptado			
7	Centro de Investigaciones	Agua	8.3. 01.C./05/4/2 002	Aceptado			
8	Centro de Investigaciones	Agua	8.3. 01.C./05/4/2 003	Aceptado			
9	Centro de Investigaciones	Aceite	E-33-45-254		Aceptado		
10	Centro de Investigaciones	Aceite	E-33-45-235		Aceptado		
11	Centro de Investigaciones	Aceite	E-33-45-125		Aceptado		
12	Lab. Operaciones unitarias	Aceite	-----		Aceptado		
13	Laboratorio de Hidráulica	Aceite	-----		Aceptado		
14	centro de investigaciones	Agua	-----		Aceptado		
15	Laboratorio de Hidráulica	Agua	-----		No aceptado		
16	Laboratorio de Hidráulica	Agua	-----		Aceptado		
17	Laboratorio de Hidráulica	Agua	-----		No aceptado		
18	Laboratorio de Hidráulica	Agua	-----		Aceptado		
19	Centro de Investigaciones	Aceite	8.3. 01.C./05/4/2 002			Aceptado	Aceptado
20	Centro de Investigaciones	Aceite	8-B-2 211			Aceptado	Aceptado
21	Centro de Investigaciones	Aceite	8.3. 01.C./05/4/2 002			Aceptado	Aceptado
22	Centro de Investigaciones	Aceite	8.3. 01.C./05/4/2 003			Aceptado	Aceptado

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XIII. Componentes de linealidad (m y b) para cada manómetro de aceite evaluado y su cálculo de incertidumbre, utilizando el patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 100 kPa

Ubicación del manómetro	Inventario No.	Calibración No.	Pendiente m	Incertidumbre $\pm m$	Intercepto b	Incertidumbre $\pm b$	Condiciones de uso
Centro de Investigaciones	8-B-2 210	1	1,0264	0,0048	-0,4091	0,2836	Aceptado
Centro de Investigaciones	E-33-45-150	2	1,0136	0,0035	-0,2273	0,2083	Aceptado
Laboratorio de Hidráulica	-----	3	1,0336	0,009	-0,7727	0,533	No Aceptado
Laboratorio de Hidráulica	-----	4	1	0	0	0	Aceptado

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

58

Tabla XIV. Componentes de linealidad (m y b) para cada manómetro de agua evaluado y su cálculo de incertidumbre, utilizando el patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 100 kPa

Ubicación del manómetro	Inventario No.	Calibración No.	Pendiente m	Incertidumbre $\pm m$	Intercepto b	Incertidumbre $\pm b$	Condiciones de uso
Centro de Investigaciones	8.3. 01.C./4/2 002	5	1,0109	0,004	0,1818	0,2357	Aceptado
Lab. de Operaciones Unitarias	-----	6	1	0	0	0	Aceptado
Centro de Investigaciones	8.3. 01.C./4/2 002	7	1,0064	0,0062	0,3182	0,3656	Aceptado
Centro de Investigaciones	8.3. 01.C./4/2 003	8	1,0132	0,0033	-0,2727	0,2357	Aceptado

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XV. Componentes de linealidad (m y b) para cada manómetro de aceite evaluado y su cálculo de incertidumbre, utilizando el patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 2 MPa

Ubicación del manómetro	Inventario No.	Calibración No.	Pendiente m	Incertidumbre $\pm m$	Intercepto b	Incertidumbre $\pm b$	Condiciones de uso
Centro de Investigaciones	E-33-45-254	9	1,0179	0,0028	-0,0043	0,0025	Aceptado
Centro de Investigaciones	E-33-45-235	10	1,0201	0,0042	0,0029	0,005	Aceptado
Centro de Investigaciones	E-33-45-125	11	0,9856	0,0182	0,0024	0,0045	Aceptado
Lab. Operaciones unitarias	-----	12	1,0097	0,0019	-0,0036	0,0048	Aceptado
Laboratorio de Hidráulica	-----	13	1	0,0078	0,0014	0,0035	Aceptado

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

59

Tabla XVI. Componentes de linealidad (m y b) para cada manómetro de agua evaluado y su cálculo de incertidumbre, utilizando el patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 2 MPa

Ubicación del manómetro	Inventario No.	Calibración No.	Pendiente m	Incertidumbre $\pm m$	Intercepto b	Incertidumbre $\pm b$	Condiciones de uso
Centro de Investigaciones	E-33-45-256	14	1,0041	0,0183	0,0052	0,0108	Aceptado
Laboratorio de Hidráulica	-----	15	1,0418	0,0041	0,0027	0,0049	No Aceptado
Laboratorio de Hidráulica	-----	16	1	0	0	0	Aceptado
Laboratorio de Hidráulica	-----	17	0,9754	0,0144	0,0019	0,0032	No Aceptado
Laboratorio de Hidráulica	-----	18	0,9991	0,0053	-0,0118	0,0063	Aceptado

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XVII. Componentes de linealidad (m y b) para cada manómetro de aceite evaluado y su cálculo de incertidumbre, utilizando el patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 40 MPa

Ubicación del manómetro	Rango MPa	Inventario No.	Calibración No.	Pendiente m	Incertidumbre $\pm m$	Intercepto b	Incertidumbre $\pm b$	Condiciones de uso
CII	0 – 69	8.3. 01.C./4/2 002	19	0,9975	0,0049	0,0025	0,0059	Aceptado
CII	0 – 48	8-B-2 211	20	1,012	0,0040	0,0029	0,005	Aceptado
CII	0 – 35	8.3. 01.C./4/2 002	21	0,9856	0,0082	0,0024	0,0045	Aceptado
CII	0 – 69	8.3. 01.C./4/2 003	22	1,0212	0,0061	0,0035	0,0063	Aceptado

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

60

Tabla XVIII. Componentes de linealidad (m y b) para cada manómetro de aceite evaluado y su cálculo de incertidumbre, utilizando el patrón marca HEISE, con rango de medición de 0 a 60 MPa.

Ubicación del manómetro	Rango MPa	Inventario No.	Calibración No.	Pendiente m	Incertidumbre $\pm m$	Intercepto b	Incertidumbre $\pm b$	Condiciones de uso
CII	0 – 69	8.3. 01.C./4/2 002	19	1,0227	0,0059	-0,2273	0,2083	Aceptado
CII	0 – 48	8-B-2211	20	1,0364	0,0159	-0,3636	0,3757	Aceptado
CII	0 – 35	8.3. 01.C./4/2 002	21	1,0239	0,01	-0,5	0,3559	Aceptado
CII	0 – 69	8.3. 01.C./4/2 003	22	1,0273	0,01	-0,2727	0,2357	Aceptado

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este trabajo de graduación se realizó el diseño, ensamblaje y evaluación de un banco de manometría por comparación para calibración de manómetros de fluidos líquidos en el rango de (0 a 60) MPa. En vista que el laboratorio de Metrología Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería dispone de cuatro manómetros patrón de marca HEISE, con rangos de medición de 0 a 100 kPa, 0 a 2 MPa, 0 a 40 MPa y 0 a 60 MPa, y a través del financiamiento del programa CHINA/CTCAP NORMAS se adquirió una bomba de comparación para proveer presión hidráulica en el rango de hasta 10 000 psi, una unidad auxiliar de transmisión de presión que consiste en un sistema tipo diafragmático adecuado para instrumentos a calibrar para rango de operación hasta 8 000 psi para diversos fluidos (aceite mineral, aceite vegetal, agua, alcohol, etc.), un set de accesorios de conexión tipo BSP de los manómetros a la bomba de comparación, un set de accesorios de conexión tipo NPT de los manómetros a la bomba de comparación y una manguera hidráulica para altas presiones para realizar calibraciones in situ.

Con todo el equipo y las unidades obtenidas se procedió a diseñar una estructura de acero inoxidable para poder resguardar, instalar y transportar todo el banco de manometría. Las dimensiones de la mesa son según las especificaciones de la bomba hidráulica, 0,90 metros de altura, 0,65 metros de fondo y 0,80 metros de frente, así también, se realizaron varias bases y refuerzos de madera para poder instalar y/o desinstalar la bomba comparativa, los manómetros patrón y una unidad auxiliar de transmisión de presión, todas las bases están atornilladas, así todo el equipo al momento del transporte o desinstalación este permanece dentro del cajón de la mesa de acero inoxidable.

El uso de la norma de metrología para manometría -Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1 993-, permitió implementar un protocolo de verificación que incluye procedimientos que parte desde la realización del inventario físico hasta la ejecución de la clasificación preliminar, el mantenimiento preventivo y correctivo (tabla XII - pág. 59), además del diagnóstico metrológico de todas las unidades de medición de la presión y el estudio de la aceptabilidad de los manómetros de uso industrial.

La Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1993 permitió utilizar los procedimientos de ésta y orientar la metodología para el protocolo de verificación. Esto requirió un esfuerzo especial puesto que los manómetros en el CII, el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química y el Laboratorio de Hidráulica de la escuela de Ingeniería Civil, carecían de mantenimiento preventivo. Esto se evidenció al encontrar polvo, aceite, teflón y otros materiales, impidiendo de esa forma que las mediciones realizadas por cada instrumento no fueran exactas hasta después de su limpieza. El buen funcionamiento de los manómetros depende también de la limpieza que se les brinde, especialmente a cada componente en particular que forma parte de él. Para realizar la limpieza antes mencionada, fue necesario desarmar cada unidad del mismo; todo ello previo a ser calibrado.

De acuerdo con lo planteado en la justificación del protocolo, la existencia de un banco manométrico por comparación en el Centro de Investigaciones de Ingeniería ayudaría al mantenimiento de la trazabilidad de manómetros instalados en las diferentes secciones del CII y en los diversos laboratorios, así como a futuro ofrecer servicios de calibración a entidades privadas y públicas. Por ello, es de suma importancia la verificación de la exactitud y precisión de este instrumento de medición.

De acuerdo con los objetivos planteados, la realización de la instalación, evaluación de toda la operación y la implementación del procedimiento para la evaluación del banco de manometría, permitió analizar el buen funcionamiento del mismo y establecer el rango de medición a comparar con cada uno de los patrones que se tienen.

De acuerdo con los objetivos planteados, la realización del inventario preliminar permite establecer las unidades a comparar con cada uno de los patrones que se disponen en el CII/USAC, para el patrón de 0 a 100 kPa se identificaron 4 manómetros de uso con aceite y 4 manómetros de uso con agua, los cuales se comprobó que 7 de ellos están en buenas funciones y 1 de ellos está en mal estado -ver resultados tabla XIII y XIV pág. 60-. Para el patrón de 0 a 2 MPa se identificaron 5 manómetros de uso con aceite y 5 manómetros de uso con agua, los cuales se comprobó que 8 de ellos están en buen uso y 2 de ellos están en mal estado -ver resultados tabla XV y XVI pág. 61-; para los patrones de rango de 0 a 40 MPa y de 0 a 60 MPa se identificaron 4 manómetros de uso con aceite los cuales se comprobó que los 4 de ellos están en buen estado -ver resultados tabla XVII y XVIII pág. 62-. Esto se realizó para comprobar el buen funcionamiento de ambos patrones dentro de rangos establecidos de manómetros seleccionados, observando así diferencias tanto en las pendientes e interceptos, como las incertidumbres de manómetros aceptados, siendo el manómetro patrón de rango de 0 a 40 MPa el que se acerca más al gráfico nominal de evaluación estimada para una calibración con respuesta exacta, esto debido a que este patrón posee un rango de evaluación menor que el patrón de 0 a 60 MPa.

La evaluación de aceptabilidad de cada manómetro se realizó a través del uso de un modelo matemático de regresión lineal de mínimos cuadrados, el cual se incluyó como un gráfico que compara la línea de tendencia nominal del patrón con la línea de tendencia de respuesta del manómetro a calibrar.

El modelo matemático utilizado también permitió la evaluación de la incertidumbre en las tendencias realizadas en cada uno de los manómetros calibrados, basados en que las incertidumbres de la pendiente (m) y del intercepto (b), las cuales están directamente relacionadas con la incertidumbre de la medición de cada valor de presión, asignando así únicamente los manómetros con la condición aceptable para su uso y los que se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma Mexicana NOM-013-SCFI-1 993.

En la sección de resultados se presentan los valores del intercepto y la pendiente de cada uno de los manómetro, indicando que las lecturas del instrumento de medición están cercanas al valor nominal del patrón utilizado. Una pendiente de magnitud unitaria ($m=1$), significa que la calibración reporta un cambio idéntico en su respuesta al del patrón. Es así que en los manómetros calibrados y con buena aptitud se obtuvieron pendientes próximas a uno; indicando una respuesta cercana al patrón por parte del equipo verificado.

Otra variable importante al momento de analizar la incertidumbre de medición de un equipo es la histéresis que éste posea durante su operación.

En la sección de anexos 2 figuras 20 y 21 (págs. 83 y 84,) se representan el comportamiento de la histéresis en los instrumentos de medición. Se puede observar en las gráficas, que las lecturas de un manómetro no se mantienen constantes. Estas lecturas se ven afectadas si la medición se realiza en un ciclo de carga de presión o descarga de esta.

Este efecto, conocido como histéresis, se debe a la acción mecánica del equipo y sus componentes, ya que dichos componentes mecánicos de un manómetro ofrecen resistencia al cambio de presión.

Un análisis detallado de la histéresis indica que se debe conocer la relación estadística (regresión lineal) que describe el comportamiento de la histéresis en el ciclo de compresión (ida) o descompresión (regreso).

En la idealidad un manómetro tendría un comportamiento descrito por la gráfica $y=x$, en la cual no existe la histéresis. Según lo muestra la sección de anexos 2, figuras 21 (pág. 84). Se puede observar en ésta gráfica que el manómetro mantiene la histéresis durante todo el rango de su calibración o funcionamiento. Sin embargo existe un comportamiento de paralelismo a diferencia de la figuras 20 pág. 83, en donde existe un punto de convergencia. Se observa también que el manómetro presenta una desviación general en su comportamiento respecto a la idealidad; este comportamiento puede estar por encima o debajo de la línea $y=x$.

Por último, se hace notar que las líneas de comportamiento en el ciclo de compresión y de descompresión se pueden ajustar a una tendencia lineal, teniendo como resultado 2 ecuaciones que describen el comportamiento del manómetro, utilizando así la tendencia que describa la operación del manómetro.

CONCLUSIONES

1. Fue posible aplicar las instrucciones indicadas por la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1993 y elaborar los documentos necesarios para implementar los procedimientos de evaluación para la aceptación de manómetros industriales de rango de 0 a 60 MPa, utilizando el banco de manometría por comparación.
2. Se evaluó la operación efectiva para uso de todo el banco de manometría por comparación en cada uno de los diferentes rangos según su capacidad de presión.
3. Se logró con éxito la instalación de un banco de manometría por comparación, facilitando así su uso inmediato en el Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC.
4. El método matemático de regresión lineal de mínimos cuadrados y la medida de la incertidumbre permitió realizar la verificación de aceptabilidad de 19 de los 22 manómetros comparados.
5. Al instalar los manómetros patrón, la unidad de membrana y todas sus unidades auxiliares se verificó el buen funcionamiento y desempeño del equipo en general para la realización de mediciones de presión con fluidos de aceite y agua.

6. Se realizó el mantenimiento preventivo a todos los manómetros evaluados como condición a aplicar el protocolo de calibración por comparación, contribuyendo así a impedir el deterioro de los instrumentos; redundando en la pérdida de su precisión, exactitud y limitación en la disponibilidad inmediata para su calibración.
7. El análisis de la histéresis en la calibración de manómetros es efectiva para observar fenómenos de paralelismo, convergencia o divergencia, cuando se utiliza el banco de manometría por comparación.

RECOMENDACIONES

1. En este estudio desarrollado se recomienda disponer de un espacio en el CII para el programa de aseguramiento metrológico en manómetros de uso industrial, mediante el uso del banco de manometría por comparación.
2. Desarrollar programas de capacitación para los usuarios del banco de manometría por comparación. Estas capacitaciones deberán estar enfocadas a la comprensión de la incertidumbre y el error de medición. Además de la capacitación para conocer como se instala cada una de las unidades en el banco de manometría por comparación.
3. Recuperar la trazabilidad de los cuatro manómetros patrón que posee el CII y realizar un programa para el procesamiento y emisión de certificados de aptitud para ser utilizarlo en proyectos venideros de esta índole.
4. Promover el interés en las autoridades y personal de CII/USAC para implementar un programa de verificación metrológica que pueda garantizar la exactitud de la medición de presión tanto en los equipos de ensayos y servicio a otras entidades.
5. Realizar la evaluación técnica y económica para la inclusión de las calibraciones manométricas de uso industrial en el arancel del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

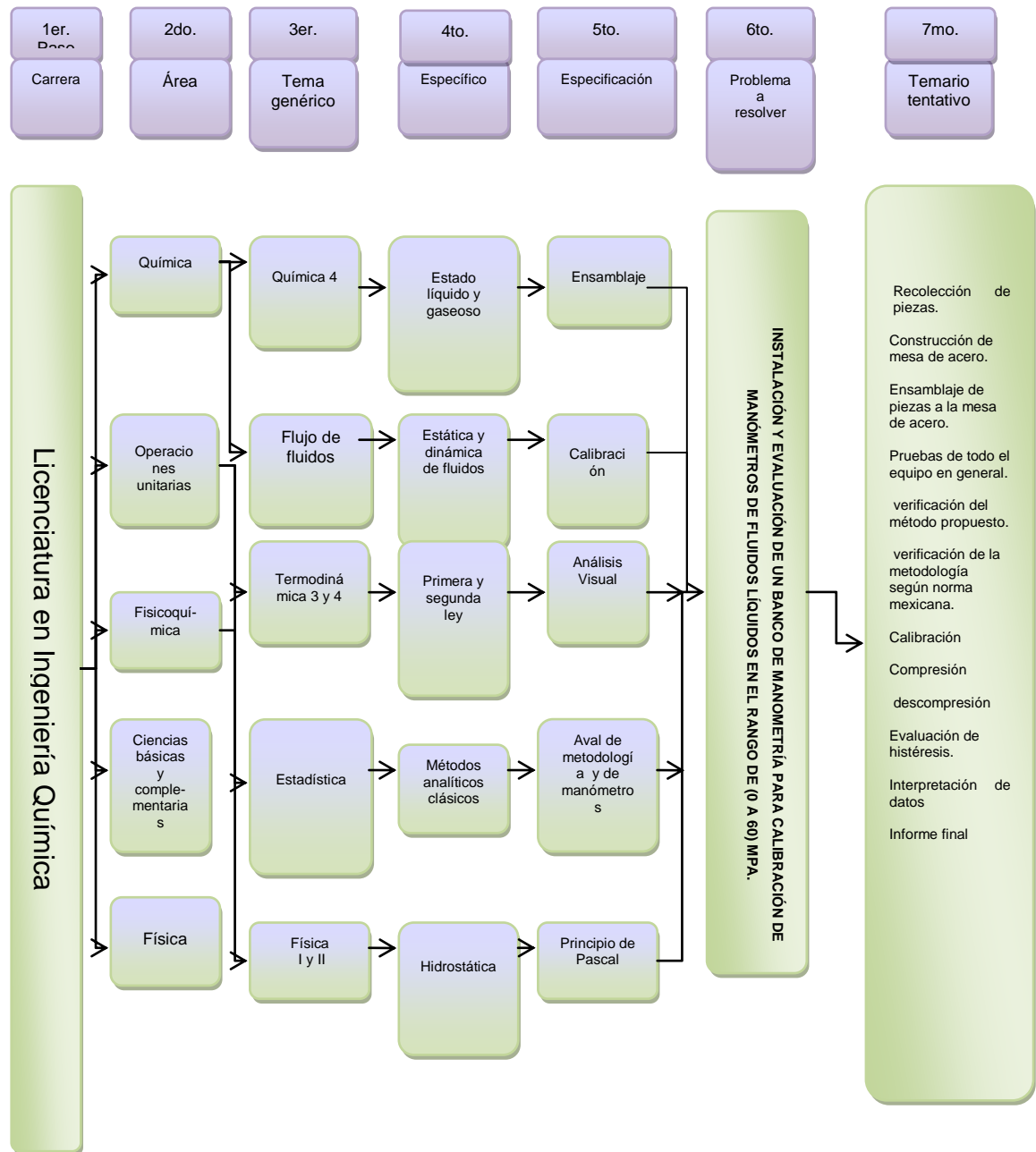
1. Alfredo de Micheli, Rafael Chávez Domínguez, “Ética y Medicina, Un Enfoque Epistemológico en la manometría” Revista Investigación, Vol. 54(1):84-83. 2002.
2. Aranda, Víctor. (2001) control de equipo y monitoreo. México. fecha de consulta 11 de noviembre de 2009. consulta en línea. www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-03-04-Traz.pdf.
3. Asociación de metrología. (2008). Fecha de consulta 15 de nov. de 2009. En línea. www.oiml.org.
4. ISO 9000 (2000).internacional Estándar. Quality Management System-requirement internacional Organization for International.
5. Políticas referentes a la trazabilidad e incertidumbre de mediciones. Serie de documentos EMA. Identidad mexicana de acreditación. Fecha de consulta 15 de noviembre de 2009. En línea <http://www.fisterra.com/material/tecnicas/hta/tomaTA.asp>.
6. Proyecto metrológico. (2007). Fecha de consulta 16 nov. de 2009. En línea. senacyt.gob.pa/g_metrologia/cenamep/incertidumbre.pdf.

BIBLIOGRAFÍA

1. De Bievre P. y H. Günzler. Traceability in chemical measurements. Madrid, España, 2002, pág. 891.
2. Manómetros de columna de líquido, balanzas de presión (en línea). Universidad de México. Consultado 20 de junio 2010. Disponible en www.metas.com.mx. Manómetros. 2005.
3. Marbán, Rocío. Metrología para no Metrólogos. Guatemala Producción y Servicios Incorporados, 2000, pág. 230.
4. Norma Oficial Mexicana NOM-013-SCFI-1993 “Instrumentos de medición-manométrica de líquido para uso general”.
5. Patrones de medición (en línea), Centro Nacional de Metrología, patrones de medición México. Consultado el 22 de junio 2010. Disponible en www.cenam.mx.
6. Thiese, Álvaro y Medeiros de Farias. Fundamentos de metrología industrial. Buenos Aires, SABRAE, 2007, pág. 185.

ANEXOS 1

Figura 15. Diagrama de requisitos académicos



Manejo de calibración

- 1.1 Quitar la tapa, llenar el recipiente del calibrador con aceite hidráulico REGAL R y O 150.
- 1.2 Asegurar de que no queden burbujas de aire en el sistema, para ello se debe sacar totalmente el embolo del calibrador, haciendo girar la manivela en sentido contrario a las agujas del reloj y luego introducirlo totalmente haciendo girar la manivela en sentido de las agujas del reloj hasta que el aceite rebalse por el conector del manómetro, se debe repetir este procedimiento 3 o 4 veces hasta que el recipiente de aceite no muestre burbujas al momento de introducir el embolo.
- 1.3 Luego tapar el recipiente de aceite del calibrador dejando lleno el conector del manómetro.
- 1.4 Atornillar el manómetro en el conector apropiado del calibrador (depende de la medida en la raíz del manómetro).
- 1.5 Girar la manivela en sentido de las agujas del reloj introduciendo el embolo hasta que el pistón quede suspendido el cual ejerce una presión "X".
- 1.6 Girar la manivela varias veces, esperar a que se detenga, leer el manómetro y anotar el valor "Y" en el registro correspondiente.
- 1.7 En incrementos X1, X2, X3, etc. (Los incrementos dependen de la división de escala del manómetro, ya que pueden ser de 5 o 10 kPa o MPa.) Esperar a que se detenga el puntero, lea el manómetro y anotar la indicación Y1, Y2, Y3 etc. del mismo. Continúe este procedimiento hasta llegar a la capacidad máxima del manómetro. (No olvidar mantener el pistón suspendido durante todo el proceso).
- 1.8 Luego girar la manivela en sentido contrario de las agujas del reloj haciendo que el embolo salga hasta bajar la presión a cero.

- 1.9 Al momento de llegar a la capacidad máxima del manómetro dejar la manivela en suspensión por un período de 1 minuto.
- 1.10 Al finalizar el minuto proceder a leer y anotar de nuevo la lectura “Y”, etc. (Los decrementos dependen de la división de escala del manómetro, ya que pueden ser de 5 o 10 kPa o MPa.) hasta llegar a cero. (Girar la manivela varias veces entre cada decremento, esperar a que se detenga, leer el manómetro y anotar la indicación Y1, Y2, Y3)
- 1.11 La desviación: $D = Y - X$ la cual debe ser menor o igual que la desviación máxima tolerada por el manómetro, para todas la mediciones.
- 1.12 Si la desviación del manómetro con respecto al patrón es mayor a la tolerancia permitida, proceder a hacer los ajustes necesarios.
- 1.13 Si la desviación del manómetro con respecto al patrón es mayor a la tolerancia permitida, desechar el manómetro y reemplazarlo por uno nuevo.
- 1.14 Evaluar la incertidumbre de la calibración.

Figura 16. Diagrama descriptivo de la planificación general para la calibración de manómetros, utilizado en el CII

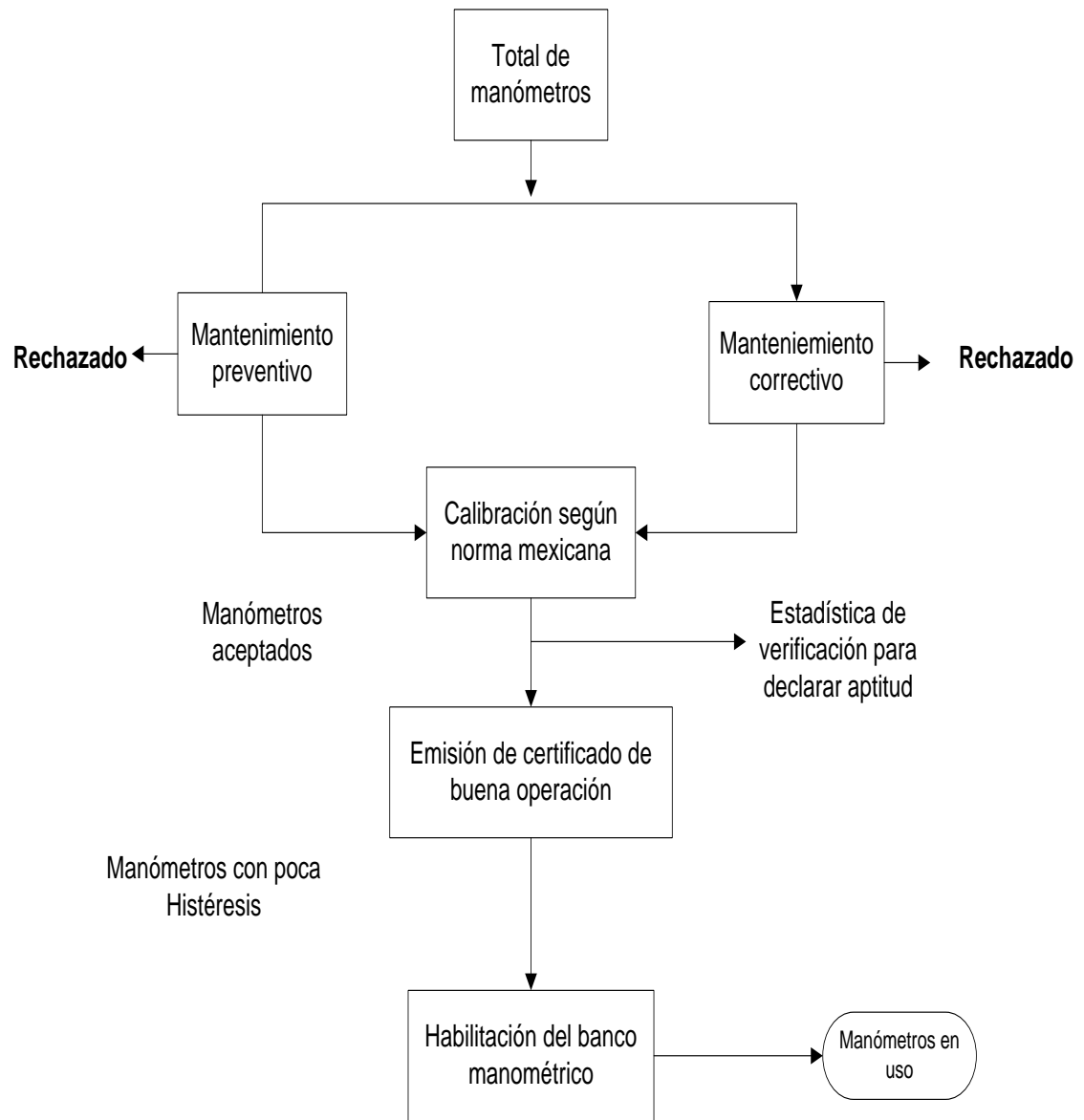
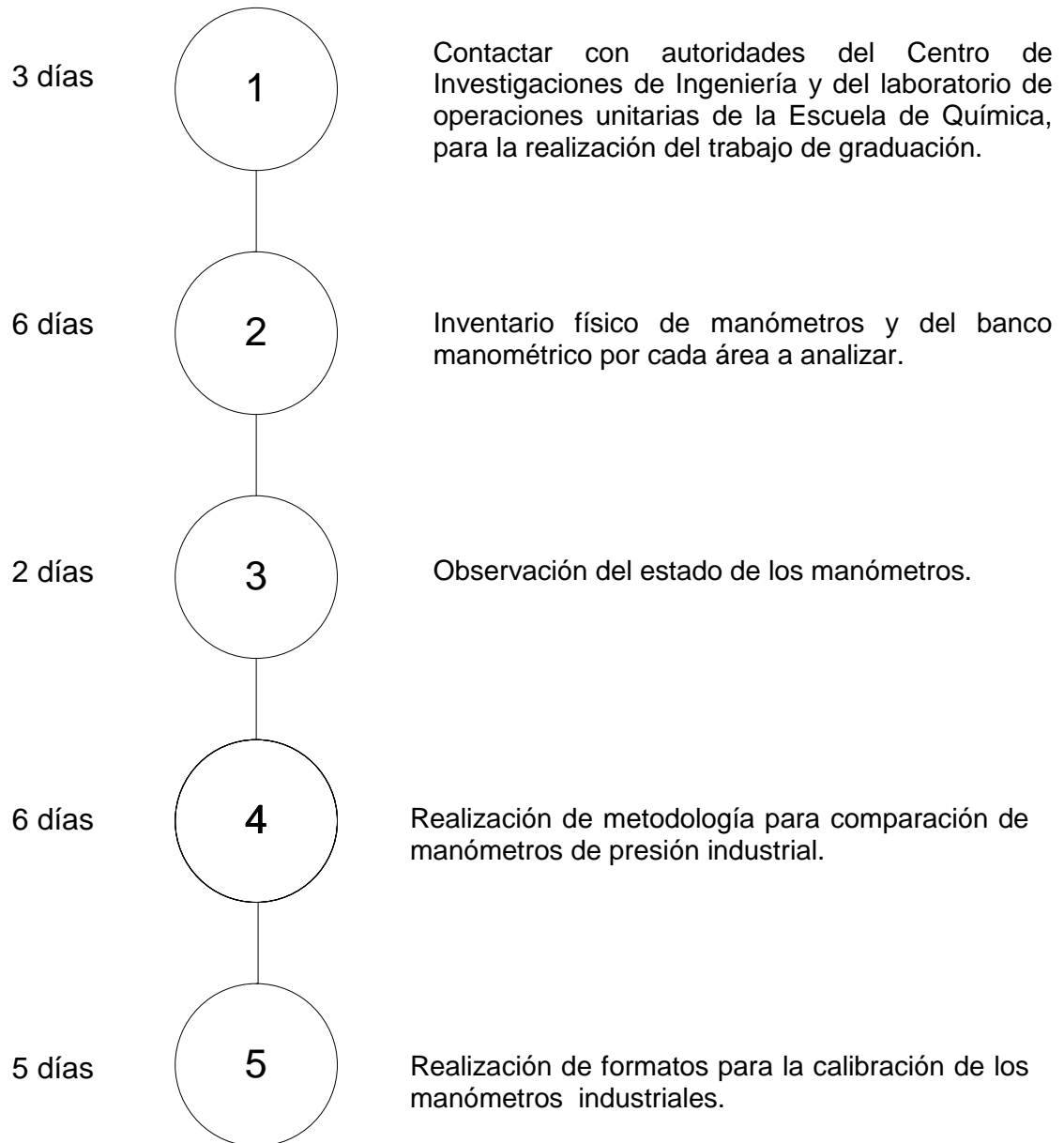


Figura 17. Diagrama de Operaciones



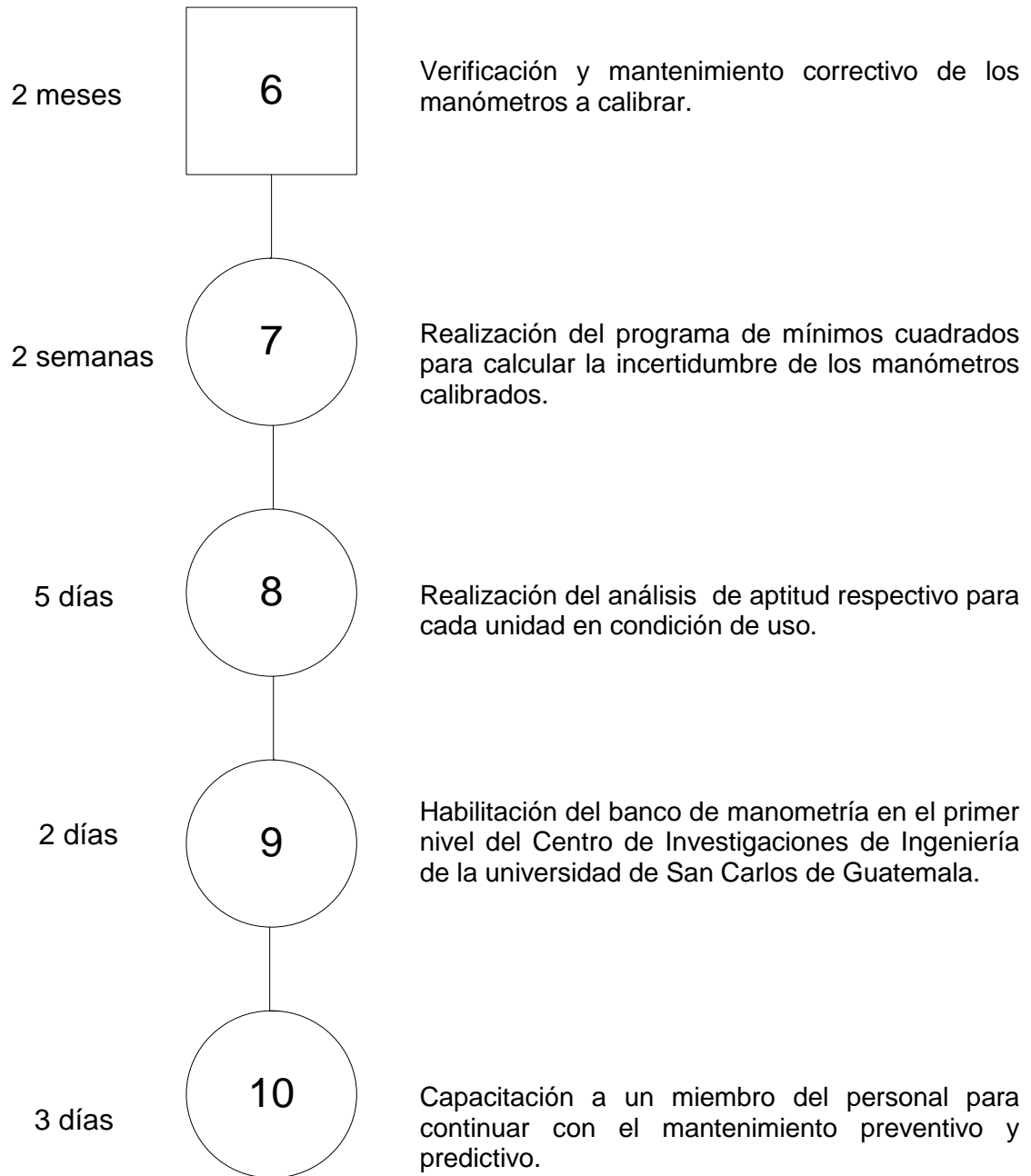


Figura 18. Diagrama de causa y efecto para el proceso de calibración de manómetros Industriales en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería

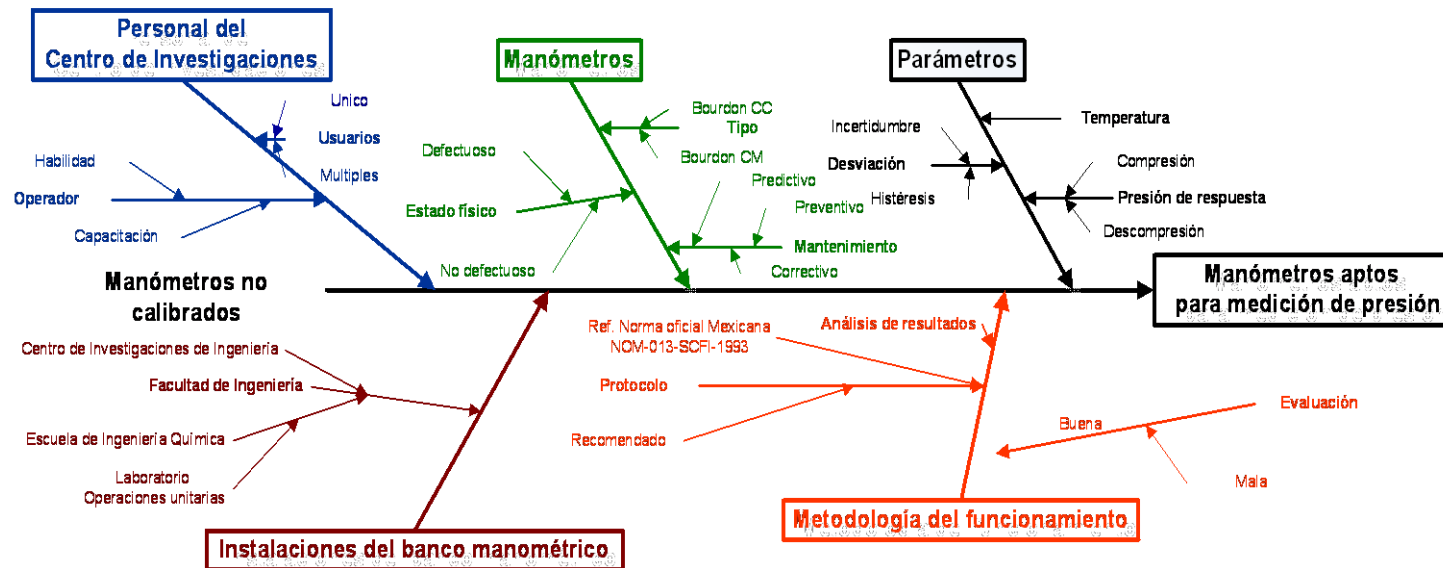


Tabla XIX. Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	SEMANA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consulta bibliográfica.	■									
Visitas al laboratorio del Ministerio de Economía.	■	■	■	■						
Obtención de todas las piezas del banco de manometría.		■	■							
Elaboración y preparación del diseño experimental.		■								
Revisión y corrección de protocolo		■	■	■	■	■	■			
Construcción de mesas y bases.	■	■	■							
Unión de todas las piezas.		■	■	■	■	■	■			
Realizar el procedimiento para calibración con agua				■	■					
Establecimiento del procedimiento para calibración con aceite.				■	■					
Calibración de los diferentes manómetros que se encuentren en el CII.					■	■	■			
Calibración de los diferentes manómetros del laboratorio de operaciones unitarias.					■	■	■			
Desarrollo de un procedimiento apropiado en base a los resultados obtenidos.		■	■	■	■	■	■	■		
Elaboración e impresión del informe final.		■	■	■	■	■	■	■	■	
Presentación de informe final.										■

Tabla XX. Costo estimado para la elaboración de la investigación del banco manométrico del CII

Costos de Proyecto:	
Costos de Investigación.	
Asesor	Q. 1 000,00/h
Investigador	Q. 750,00/h
Fotocopias	Q. 20,00/ unidad
Impresiones	Q. 100,00/unidad
Internet	Q. 26,00/hora
Costo del equipo.	
Bomba para proveer presión hidráulica.	Q. 35 000,00/unidad
Manómetro patrón marca HEISE de 0 a 100 kPa.	Q. 5 000,00/unidad
Manómetro patrón marca HEISE de 0 a 2 MPa.	Q. 5 000,00/unidad
Manómetro patrón marca HEISE de 0 a 40 MPa.	Q. 5 000,00/unidad
Manómetro patrón marca HEISE de 0 a 60 MPa.	Q. 5 000,00/unidad
Mesa de acero inoxidable.	Q. 10 000,00/unidad
Manguera hidráulica para altas presiones	Q. 2 500,00/unidad
Accesorios tipo BSP	Q. 3 000,00/6 unidades
Set de accesorios de conexión tipo NPT	Q. 3 500,00 / 6 unidades
Unidad auxiliar de transmisión de presión	Q. 30 000,00 / unidad
Costo mantenimiento de equipo	
Banco	Q. 3 000,00
Manómetros	Q. 3 000,00/viaje
Pistón	Q. 200,00
Personal	Q. 40,00/día.

Figura 20. Medidas y detalles de los manómetros patrón de marca HEISE

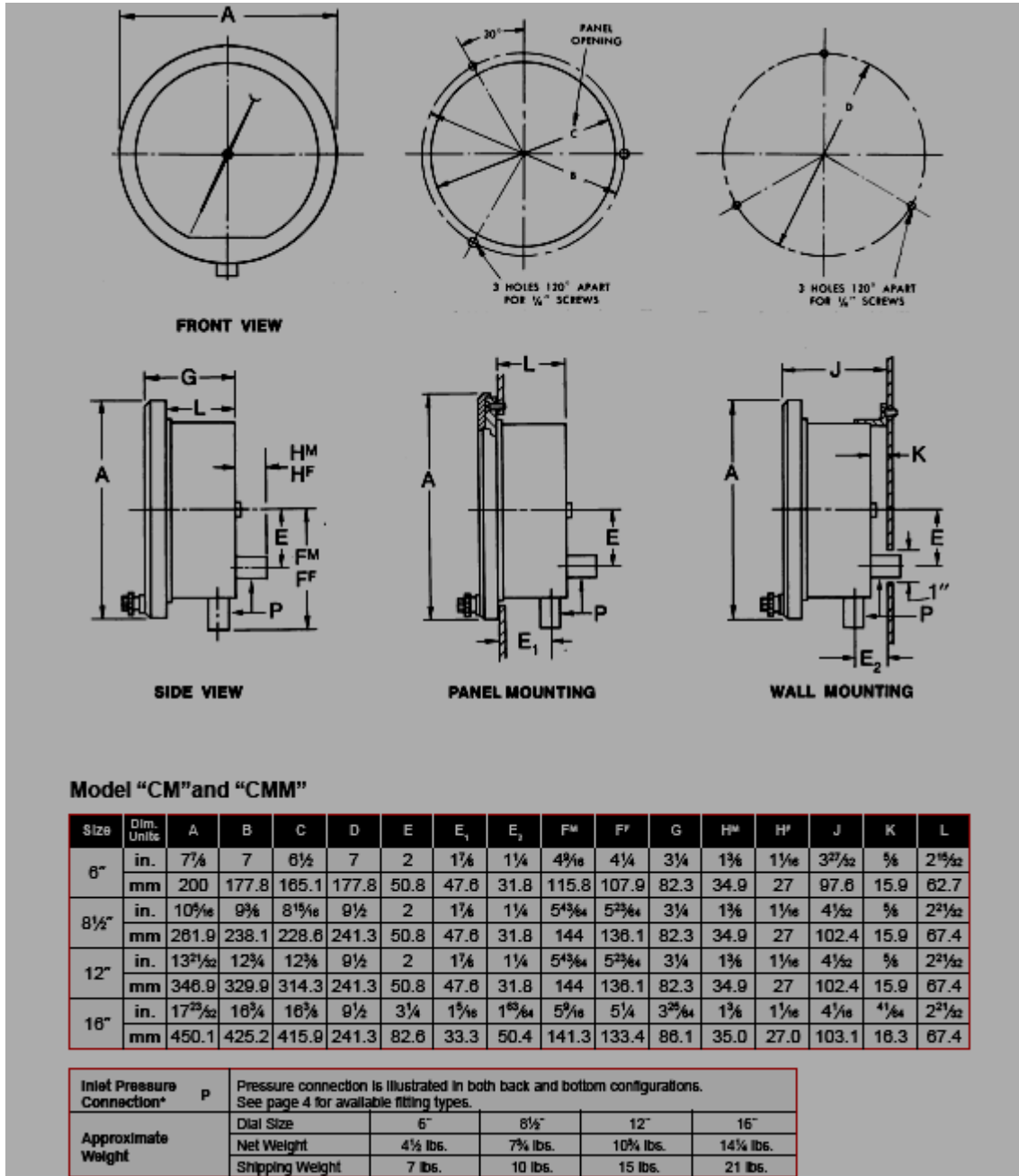


Figura 21. Presencia de histéresis de uno de los manómetros ubicado en el CII

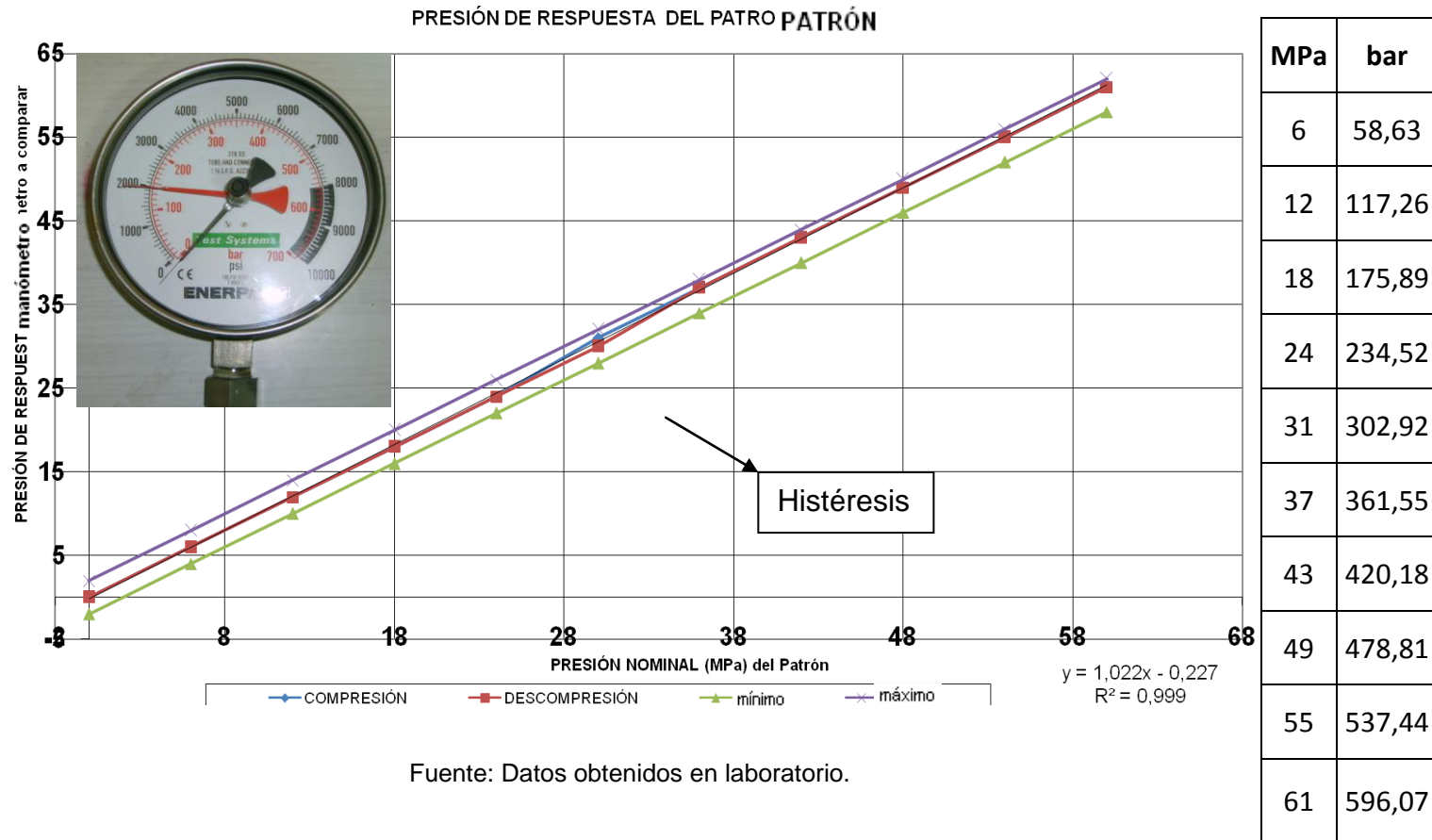
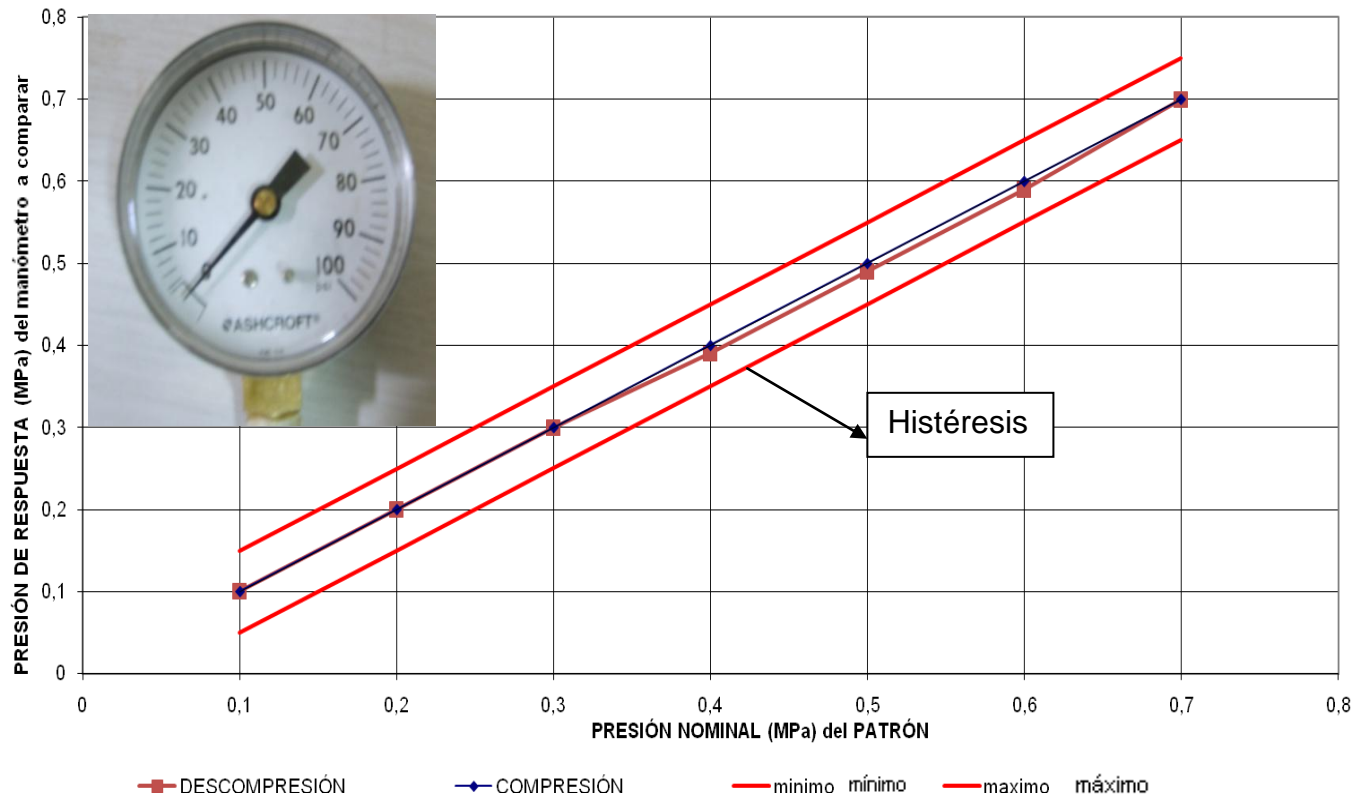


Figura 22. Presencia de histéresis de uno de los manómetros ubicado en el laboratorio de Hidráulica

PATRÓN

PRESIÓN DE RESPUESTA DEL PATRON No. 2



psi	MPa
0	0,00
15	0,10
29	0,20
44	0,30
59	0,41
73	0,50
87	0,60
100	0,69

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

