
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE MEDICIÓN Y CALIBRACIÓN PARA LOS INSTRUMENTOS DE PRESIÓN DE LA EMPRESA CIAPROMASE S.A.

Maskay-Electrónica
Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Casilla 17-15-231B, Sangolquí, Ecuador
jose.villacis@outlook.com

PRÓLOGO

El presente proyecto desarrolla e implementa un laboratorio de calibración para instrumentación de presión. El diseño de la solución aportada es conciso y no permite ambigüedades, para mejora las condiciones actuales de calibración de este tipo de instrumentos. Asimismo, mantiene la trazabilidad de las medidas obtenidas durante el proceso para hacerlo más óptimo de los instrumentos calibrados, a medio y largo plazo.

DEFINICIONES Y CONCEPTOS PREVIOS.

1.1 METROLOGÍA

A través de los años las sociedades han hecho de las mediciones la base de su progreso, tanto así que la construcción, la fabricación, el desarrollo, el control de procesos, y todo tipo de progreso requiere poseer un conjunto de conocimientos relativos de las unidades con las que se están trabajando.

1.1.1 DEFINICIÓN DE METROLOGÍA

Es la ciencia de las medidas; en su generalidad, trata del estudio y aplicación de todos los medios propios para la medida de magnitudes

1.2 METROLOGIA Y SUS APLICACIONES

- Metrología eléctrica
- Mediciones electromagnéticas
- Termometría
- Tiempo y frecuencia
- Metrología física
- Óptica y radiometría
- Vibraciones y acústicas
- Metrología de materiales o química
- Metrología Mecánica
- Metrología de masa y densidad
- Metrología de fuerza y presión
- Metrología de flujo y volumen

1.3 ORGANISMOS E INSTITUCIONES METROLÓGICAS

- **ANSI** Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
- **DIN** Deutsches Institut für Normunge.
- **ISO** Organización Internacional para la Estandarización

1.4 EN EL ECUADOR

- Instituto Ecuatoriano De Normalización INEN
- Organismo De Acreditación Ecuatoriano OAE

1.5 CERTIFICACIÓN Y ACREDITACIÓN

La *certificación* es el proceso voluntario por el cual una tercera parte - diferente al productor y al comprador, valida y asegura por escrito que un producto o un servicio cumple con unos requisitos previamente especificados. Mientras que la *acreditación* es una herramienta para el mejoramiento continuo de la calidad mediante el desarrollo de un proceso sistemático que permite detectar oportunidades de mejora y afianzar sus fortalezas.

TEORIA DE ERRORES DE MEDICION

2.1. MEDICIÓN

Es comparar una magnitud con respecto a otra, ese básicamente es el concepto de medición. El

procedimiento para la medición requiere definir e identificar correctamente tres pasos: *¿qué es lo que se va a medir?* la cantidad a medir, *¿cómo se va a medir?* la unidad empleada, con su definición y su patrón y *¿con qué elementos se va a medir?* el instrumento que utilizamos para medir.

2.2. EXACTITUD Y PRECISIÓN

La *exactitud* de un instrumento de medición se refiere al grado de aproximación de las medidas dadas por un instrumento comparada con las medidas que se obtendría utilizando un instrumento patrón.

La *precisión* es la medida de la reproducibilidad de mediciones consecutivas. Es decir, un instrumento de baja precisión, indicará medidas muy dispersas de una misma magnitud, mientras que un instrumento muy preciso dará medidas muy similares.

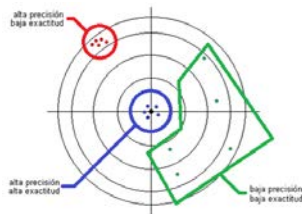


Figura 2. 1 Exactitud y Precisión, definición gráfica.

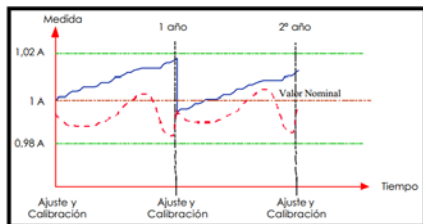


Figura 2. 2 Deriva de dos Amperímetros en el tiempo

2.3. ERRORES DE MEDIDA

- Mediante el cálculo del *error absoluto*, que corresponde a la diferencia entre el valor medido (X_m) y el valor real (X_r).

$$E = |X_m - X_r| \quad \text{Ecuación 2.1}$$

- Mediante el cálculo del *error relativo*, que corresponde a la relación entre el error absoluto y el valor medido (X_m):

$$e = \frac{E}{X_m} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

2.3.1. TIPOS DE ERRORES

a) *Error Aleatorio*

El error aleatorio es propio de cada medición, y dentro de un grupo de mediciones se cuantifica a este error como la diferencia entre una medida determinada (X_m) y el promedio todas las mediciones realizadas (\bar{X}), tal que:

$$EA = |X_m - \bar{X}| \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Y:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Ecuación 2.4}$$

b) *Error Sistemático*

Pueden surgir de emplear un método inadecuado, un instrumento defectuoso o bien por usarlo en condiciones para las que no estaba previsto su uso. Dentro de un grupo de medidas, el valor sistemático se debe a la diferencia entre la media de los valores (\bar{X}) y el valor real (X_r)

$$ES = \bar{X} - X_r \quad \text{Ecuación 2.5}$$

2.4. CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES

Los *mesurandos* son las magnitudes particulares objeto de una medición. En calibración, es frecuente que sólo se disponga de un *mesurando*, medida o magnitud de salida Y , que depende de una serie de magnitudes de entrada $X_m (m = 1, 2, \dots, N)$, de acuerdo con la relación funcional, tal que $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, la función f representa el procedimiento de medición y el método de evaluación.

Debido a que toda medida realizada tiene su grado de incertidumbre, todas las medidas realizadas serán estimaciones de la medición. Una estimación del *mesurando* Y , la *estimación de salida* expresada por y , se obtiene de la función antes descrita utilizando las *estimaciones de entrada* x_m como valores de las magnitudes de entrada X_m .

En el caso de las variables aleatorias, la *varianza* de su distribución o la raíz cuadrada positiva de la varianza, llamada *desviación típica*, se utiliza como medida de la dispersión de los valores. La *incertidumbre típica de medida* asociada a la estimación de salida o al resultado de la medición y , expresada por $u(y)$, es la desviación típica del *mesurando* Y . Se determina a partir de los valores estimados x_m de las magnitudes de entrada X_m y sus incertidumbres típicas asociadas $u(x_m)$.

La incertidumbre se calcula de forma diferente dependiendo de si el valor de la magnitud se observa directamente en un instrumento de medida (*medida directa*) o si se obtiene manipulando matemáticamente una o varias medidas directas (*medida indirecta*). En una práctica calcularemos primero la incertidumbre de las medidas directas y luego la de las indirectas.

La incertidumbre de medida asociada a las estimaciones de entrada se evalúa utilizando uno de los siguientes métodos: “**Tipo A**” o “**Tipo B**”.

2.4.1. EVALUACIÓN TIPO A DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA

Supóngase que la magnitud de entrada X_m , medida repetidas veces, es la magnitud X . Con n observaciones estadísticamente independientes (tal que $n > 1$), el valor estimado de la magnitud X ahora es \bar{X} , la *media aritmética* o el *promedio* de todos los valores observados X_i (tal que $i = 1, 2, \dots, n$). Estableciendo una ecuación de lo mencionado, esta será la ecuación antes establecida:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Ecuación 2.6}$$

La incertidumbre de medida asociada al estimado x , se evalúa de acuerdo con uno de los métodos siguientes:

a) El valor estimado de la varianza de la distribución de probabilidad es la *varianza muestral* $s^2(x)$ de los valores X_m , que viene dada por:

$$s^2(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Su raíz cuadrada (positiva) se denomina *desviación típica*. La mejor estimación de la varianza de la media aritmética \bar{X} es la *varianza muestral de la media aritmética o repetibilidad*, que viene dada por:

$$S^2 = \frac{s^2(\bar{X})}{n} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Su raíz cuadrada positiva se denomina *desviación típica experimental de la media aritmética*. La incertidumbre típica, la cual llamaremos u , asociada a la estimación de entrada \bar{X} es la desviación típica experimental de la media

$$u = S \quad \text{Ecuación 2.9}$$

b) Cuando una medición está correctamente caracterizada y bajo control estadístico, es posible que se disponga de una **estimación combinada de la varianzas** $S^2(\bar{X})$ que caracterice mejor la dispersión que la desviación típica estimada a partir de un número limitado de observaciones. Si, en ese caso, el valor de la magnitud de entrada X se calcula como la media aritmética \bar{X} de un pequeño número N de observaciones independientes, la varianza de la media aritmética podrá estimarse como:

$$u = \frac{S(\bar{X})}{N} \quad \text{Ecuación 2.10}$$

La incertidumbre típica se deduce de este valor utilizando la ecuación 2.8

2.4.2. EVALUACIÓN TIPO B DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA

El uso apropiado de la información disponible para una evaluación Tipo B de la incertidumbre típica de medición exige un juicio basado en la experiencia y en conocimientos generales. Es una destreza que puede adquirirse con la práctica.

CALIBRACIÓN DE PRESIÓN.

3.1. INSTRUMENTOS DE CALIBRACIÓN

Los equipos y materiales necesarios, no solo para generar y medir, sino también los accesorios que permiten realizar la calibración, son:

3.1.1. EQUIPO PATRÓN



Figura 3. 1 Transmisor de Presión Autrol APT3200

Características:

Modelo: APT3200

Exactitud: $\pm 0.075\%$
 Rango: 0 – 300psi
 Rango de Operación: 100:1
 Salida Analógica: 4-20mA
 Salida Digital: HART o Fieldbus Foundation
 Alimentación: 11.9 a 42 Vdc Max
 Tiempo de muestreo: 0.25 – 60seg.
 Pantalla: 8 caracteres alfanuméricos
 Configurable
 Compensación Inmediata de Temperatura Ambiente
 4 ~ 20mA Puntos (Cero / Span)
 Unidades de Ingeniería



Figura 3. 5 Válvula de Aguja, para el acceso o salida de presión

De acuerdo a las características mencionadas el equipo tiene una incertidumbre en la medida de $\pm 0.225\text{psi}$ y podrá ser utilizado como patrón en aquellos instrumentos cuya incertidumbre no sea menor a $\pm 0.675\text{psi}$.

3.1.2. GENERADOR Y CONTROLADOR DE PRESIÓN



Figura 3. 2 Compresor de aire, 0-160psi

3.1.3. ACOPLER, LLAVES Y TUBERÍAS



Figura 3. 3 Acople de conexión Rápida



Figura 3. 4 Conjunto de acople a manguera de baja presión

3.2. OPERACIONES PREVIAS

- Definir un formato a ser llenado para la recolección de los datos que identifiquen al equipo que se calibrará, en el cual conste el *Nombre del Propietario, Dirección del Propietario, Número de calibración, Tipo de Instrumento (Manómetro, vacuómetros o manovacúómetros), Modelo, Marca, Número de Serie, Fecha en la que se realiza la Calibración, Fecha del Ingreso del Equipo, y el Rango de Medición del instrumento a calibrar.*
- Comprobar el estado de la carátula y aguja indicadora del instrumento, cualquier anomalía detectada será informada al cliente antes de realizar cualquier medida.
- Establecer un ambiente controlado a una temperatura de $23 \pm 3^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa entre de $50 \pm 10\%$ (más importante que el valor de temperatura o humedad relativa son las oscilaciones, deben ser reducidas), cualquier variación en el ambiente será registrado.
- Comprobar en el instrumento a calibrar la existencia de fugas mediante 2 ciclos de subida y bajada de presión hasta el fondo de su escala.
- Programar al patrón para medir en las mismas unidades del instrumento a calibrar.

3.3. PROCESO DE CALIBRACIÓN

3.3.1. DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDIDA

La calibración debe cubrir todo el rango del ítem, se realizarán al menos en 5 puntos que estarán equidistantes entre sí, desde el 0% al 100% de su rango (el cero no cuenta como punto de calibración).

3.3.2. CALIBRACIÓN

3.8

Se recomienda realizar dos series de medidas para manómetros de clase de precisión 0,25% o peor, y tres series de medida para manómetros de clase de precisión mejor de 0,25%. Las series se realizarán siguiendo los ciclos definidos anteriormente: creciente y decreciente, con lo cual obtendremos cuatro valores por punto de calibración para el primer caso y seis para el segundo.

3.4. CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES

3.4.1. EXACTITUD EN LA MEDICIÓN

$$Exactitud = \frac{EA}{Rango\ máximo - Rango\ mínimo} * 100\%$$

Ecuación 3.1

3.4.2. INCERTIDUMBRE POR HISTÉRESIS

$$H(\%) = \frac{H_{max}}{Rango\ máximo - Rango\ mínimo} * 100$$

Ecuación 3.2

$$U\ Histéresis = \frac{h_{max}}{2\sqrt{3}}$$

Ecuación 3.3

3.4.3. INCERTIDUMBRE POR REPETIBILIDAD

$$R(\%) = \frac{R_{max}}{Rango\ máximo - Rango\ mínimo} * 100$$

Ecuación 3.4

$$U\ Repetibilidad = S$$

Ecuación 3.5

3.4.4. INCERTIDUMBRE POR RESOLUCIÓN

$$U\ Res = \frac{Res}{2\sqrt{3}}$$

Ecuación 3.6

3.4.5. INCERTIDUMBRE UNIFICADA Y EXPANDIDA

$$U = \sqrt{(U\ His^2 + U\ Rep^2 + U\ Res^2 + U\ Tem)}$$

Ecuación 3.7

$$U\ expandida = U * 2$$

Ecuación

$$U(\%) = \frac{U\ expandida}{Rango\ máximo - Rango\ mínimo} * 100$$

Ecuación 3.9

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

4.1. DESARROLLO DE HARDWARE

4.1.1. GENERACIÓN

La boquilla de salida del compresor es una rosca de 1/4" MNPT¹, y la entrada del banco de calibración se diseñó para que con una conexión de acople rápido garantice la rápida conexión entre el banco y su alimentación manométrica. Para ello se emplea un conjunto de acoples y mangueras que permiten la breve separación y el libre paso de aire entre el compresor y el banco de medición.



Figura 4. 1 Manguera y conjunto de acoples implementados en la etapa de generación

4.1.2. MEDICIÓN

Para la admisión o evacuación de presión en la etapa de medición se implementa válvulas de aguja de conexión 1/2" F-M NPT², estos elementos a diferencia de las demás válvulas son fabricadas con el fin de soportar altas presiones sin permitir fugas y/o acumulaciones del fluido. En la siguiente figura se indica complemente la etapa de medición señalando los distintos elementos.



Figura 4. 2Banco de Calibración MBP

¹Rosca Americana Cónica tipo Macho.

²Entrada de 1/2" FNPT y Salida de 1/2" MNPT

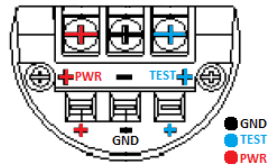


Figura 4. 3 Conexión de la Alimentación Eléctrica del Autrol APT3200

4.1.3. TRANSMISIÓN

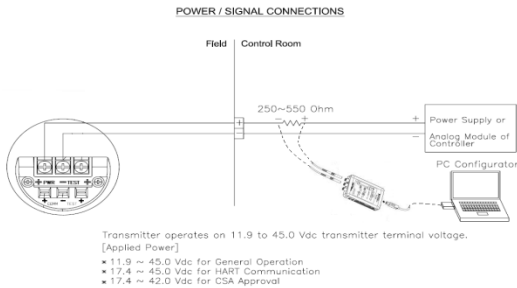


Figura 4. 4 Conexión de la etapa de Adquisición.

La resistencia de instrumentación utilizada es de 250Ω para que de esta manera la señal de 4-20mA se proporcionalmente convertida a una señal de Voltaje de 1-5Vdc, tal que la dicha señal sea admisible a la entrada de la tarjeta de adquisición.

4.2. DESARROLLO DEL SOFTWARE

4.2.1. DATOS INFORMATIVOS



Figura 4. 5 Etapa de Ingreso de Datos Informativos.

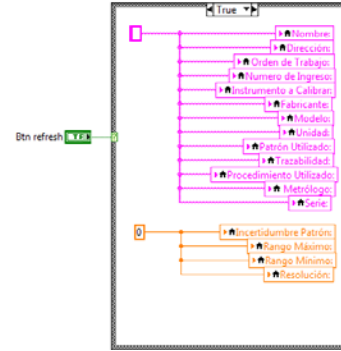


Figura 4. 6 Primera Etapa, Botón REFRESH

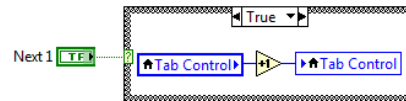


Figura 4. 7 Primera etapa, Botón NEXT

Al seleccionar el dato sugerido por el programa en el campo del patrón utilizado, los campos de trazabilidad e Incertidumbre del Patrón son automáticamente asignados según los valores que indica la siguiente figura:

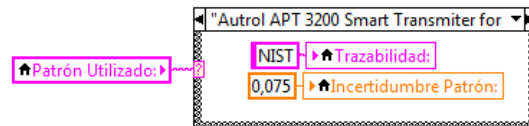


Figura 4. 8 Etapa Primera, Patrón utilizado por defecto.

4.2.2. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION



Figura 4. 9 Etapa de Procedimiento de Calibración

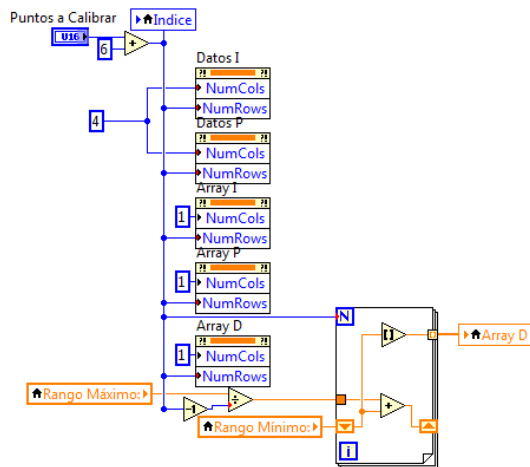


Figura 4. 10 Etapa de Procedimiento de Calibración, Determinación de puntos de Medida

Para la adquisición de las medidas del patrón e instrumento a calibrar se utiliza el botón <Ingreso Dato>; al activar el botón, el dato inscrito en el campo de texto <Dato Ingreso> es capturado y enviado al arreglo <Array I>, a su vez la MyDAQ transmite la lectura obtenida del patrón, pero este dato se encuentra en unidades Volticas, por lo tanto se realiza la conversión a la unidad manométrica seleccionada en la etapa de Datos Informativos, para después ser mostrada en el arreglo <Array P>. Los dos arreglos son enviados a las matrices <Datos I> y <Datos D> una vez concluido el ciclo de toma de datos (Subida o Bajada).

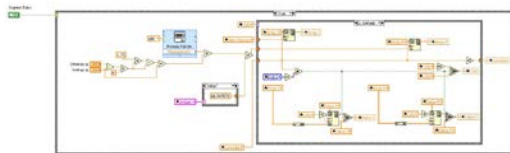


Figura 4. 11 Procedimiento de Calibración, Obtención de Medidas Ciclo de Bajada.

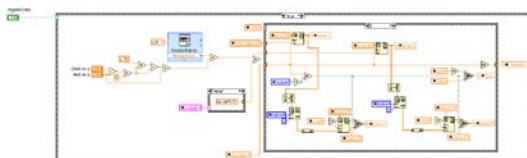


Figura 4. 12 Procedimiento de Calibración, Obtención de Medidas Ciclo de Subida.

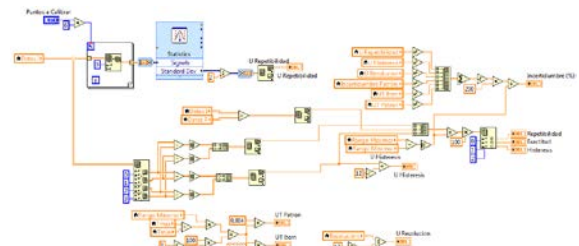


Figura 4. 13 Procedimiento de Calibración, Cálculo de Incertidumbres.

4.2.3. REGISTRAR CERTIFICADO

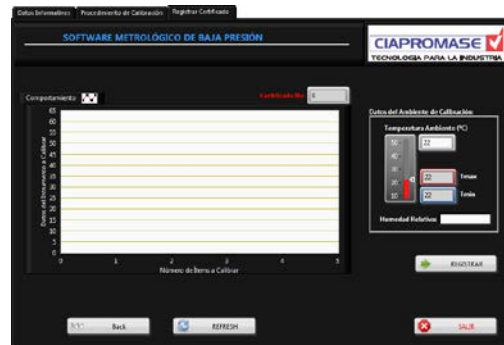


Figura 4. 14 Etapa de Registro del Certificado

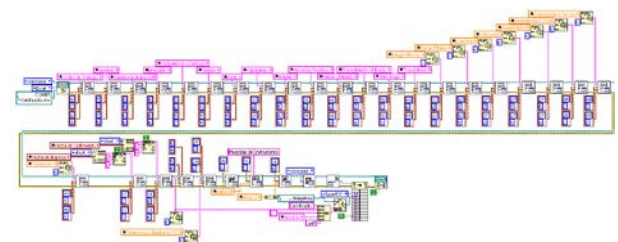


Figura 4. 15 Registro de datos en el certificado

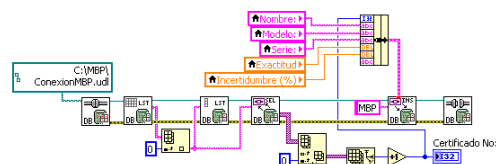


Figura 4. 16 Conexión con la base de datos

4.3. PUESTA EN MARCHA Y FUNCIONAMIENTO.

Tabla 4.1: Resultados Obtenidos MBP vs Calibración Tradicional

Fabricante/Modelo	Incertidumbre MBP	Incertidumbre Calibración Tradicional
Ashcroft: 451279SS04L 0/160psi	0.499%	0.683%
Ashcroft: 451259SS04L 0/100psi	1.081%	1.005%
Ashcroft: 351009SS04L 0/100psi	1.692%	1.876%
Ashcroft: 251009SS02L 0/60psi	1.937%	1.721%

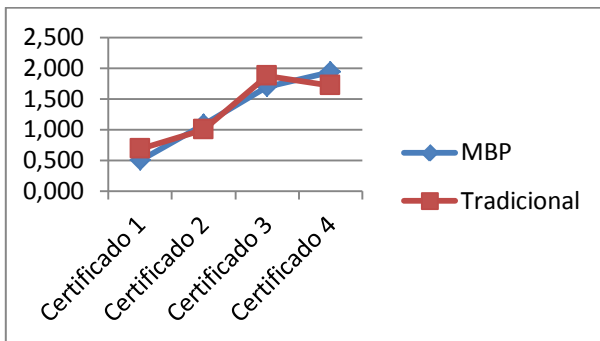


Figura 4.17 Relación de resultados MBP vs Cálculo Tradicional

La respuesta obtenida refleja que a la fecha CIAPROMASE S.A. realiza un 20% de calibraciones al día y al metrólogo destaca la sencilla manera de encontrar un certificado archivado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La manipulación del sistema metrológico de baja presión fue sustentada y expuesta ante los metrólogos de la ciudad de Guayaquil para después proceder con la explicación del funcionamiento del proyecto, y los resultados obtenidos han sido favorables, los tiempos por duración en el proceso de calibración, cálculo de las incertidumbre, y

emisión de certificado se redujeron considerablemente, dando como muestra el aumento en la cantidad de manómetros calibrados al día.

- Una de las fallas más críticas a nivel de hardware fue sujeción del banco de calibración. Al intentar abrir las válvulas de aguja, los tubos de PVC se veían afectados por la fuerza que requiere la apertura o cierre de las válvulas; por ende el banco de medición es sujetado a una superficie lisa de madera, lo cual permite que el sistema sea portable y libre de corriente estática que afecte a la transmisión de las lecturas.

- Los resultados obtenidos han sido comparados con la metodología comúnmente utilizada por los metrólogos de CIAPROMASE, presentando así una mínima diferencia en sus resultados, lo cual es favorable, ya que hace validación a la implementación efectuada.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es necesario un entendimiento de las características, limitaciones y funcionamiento normal de cada parte de los instrumentos utilizados, así como el conocimiento teórico de todas las facetas del problema de medida en sí mismo.

- El desarrollador debe ser capaz de evaluar la consistencia de distintos métodos en términos matemáticos cuantitativos, y debe poder imaginar métodos alternativos.

- Utilizar procedimientos planeados, trabajar cuidadosamente y sin prisas, anotar todos los valores directamente y en forma ordenada, tomar nota de todos los detalles de las condiciones y de la disposición del experimento.