

Participación en la Intercomparación entre Laboratorios versión 2022, de la Asociación Regional III, miembro de la Organización Mundial de Meteorología: Calibración de un sensor de presión modelo PTB220.

Nota Técnica SMN 2023 - 150.

Aranda Cordero, Cristian Zozimo¹; Sánchez Mérola, Sofía Manuela³; Sayago, Paola²; Corvalan, Hernán Gaston¹; Infante Sandoval, Daniel Franklin¹; Wolfram, Elián³; Arencibia, Claudio¹

¹ DNITD - CLI - Instrumental

² DNITD - CLI - Laboratorio

³ DNITD - DRO - Redes de observación

Agosto 2023

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

En esta nota técnica se detalla el proyecto llamado Intercomparación entre Laboratorios o *Interlaboratory Comparison* (ILC) que sirve como una herramienta para la comparación de resultados llevados a cabo por laboratorios donde se realizan calibraciones de instrumentos para la meteorología, los cuales pueden estar acreditados o no acreditados en el campo de medición correspondiente. Esta versión de la ILC se realizó en la asociación regional III, miembro de la WMO, cuya organización fue llevada a cabo por el SMN, que alberga al Centro Regional de Instrumentos de Buenos Aires (RIC III) y el INTI; con el apoyo de la asociación regional VI, miembro de la WMO conformado por la Agencia Ambiental de Eslovenia (RIC VI), la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Liubiana, el Laboratorio de Metrología y Calidad y el Instituto Nacional de Metrología Italiano (INRIM). La importancia de participar en este tipo de proyectos consiste en mejorar los procesos de medición, encontrar las deficiencias técnicas de los instrumentos utilizados y mejorar la técnica de la medición de incertidumbre. La experiencia consistió en realizar el proceso de calibración para la magnitud presión. Dicho procedimiento se realizó en cuatro etapas. En base al instrumental recibido, la primer etapa consistió en el armado y montaje del banco de medición, tal que este permita medir las variables. En la segunda etapa se analizaron, filtraron y prepararon las mediciones obtenidas. En una tercera etapa se realizó el proceso de calibración y en la cuarta y última etapa, se realizó el análisis de los resultados. Dichos resultados serán evaluados según un método de aceptación determinado por los laboratorios organizadores. Así, para cada punto medido se obtuvo un valor promedio de la medición junto a su incertidumbre expandida asociada. Para mejorar el proceso de calibración en la variable presión se recomienda utilizar sensores patrones con mayor sensibilidad, menor tiempo de respuesta y mejor resolución. La participación del laboratorio del SMN en este proyecto es uno de los primeros pasos para la acreditación de la ISO/IEC 17025:2017.

Abstract

This technical note details the project called Interlaboratory Comparison or *Interlaboratory Comparison* (ILC) that serves as a tool for comparing results carried out by laboratories where calibrations of meteorological instruments are performed, which can be accredited or not accredited in the corresponding field of measurement. This version of the ILC was carried out in the regional association III, a member of the WMO, whose organization was carried out by the SMN, which houses the Regional Instrument Center of Buenos Aires (RIC III) and the INTI; with the support of the regional association VI, a member of the WMO made up of the Slovenian Environmental Agency (RIC VI), the Faculty of Electrical Engineering of the University of Ljubljana, the Laboratory of Metrology and Quality and the Italian National Institute of Metrology. The importance of participating in this type of project consists in improving the measurement processes, finding the technical deficiencies of the instruments used and improving the uncertainty measurement technique. The experience consisted of carrying out the calibration process for the magnitud pressure. This procedure was carried out in four stages. Based on the instruments received, the first stage consisted of the building and assembling of the measurement bench, such that it allows the variables to be measured. In the second stage, the measurements obtained were analyzed, filtered and prepared. In a third stage, the calibration process was carried out and in the fourth and last stage, the analysis of the results was executed. These results will be evaluated according to an acceptance method determined by the organizing laboratories. Thus, for each measured point, an average value of the measurement was obtained together with its associated expanded uncertainty. The results obtained showed that the pressure variable presents a similar uncertainty between the different measured points, this is due to the fact that the measurement bank quickly reaches stabilization, that is, it presents very small oscillations around each point. To improve the calibration process in the temperature and humidity variables, it is

recommended to use sensors with a shorter response time, according to the variations of the environment. The participation of the SMN laboratory in this project is one of the first steps towards ISO/IEC 17025:2017 accreditation.

Palabras clave: Presión, Calibración, Presupuesto de incertidumbre, Intercomparación, Laboratorios, Automatización.

Citar como:

Aranda Cordero C. Z., Sánchez Mérola S. M., Sayago P., Infante Sandoval D. F., Corvalan H. G., Arencibia C., y Wolfram E. 2023: Participación en la Intercomparación entre Laboratorios versión 2022, de la Asociación Regional III, miembro de la Organización Mundial de Meteorología: Calibración de un sensor de presión modelo PTB220. Nota Técnica SMN 2023-150.

1. INTRODUCCIÓN

La Intercomparación entre Laboratorios (ILC, por sus siglas en inglés) sirve como una herramienta para la comparación de resultados llevados a cabo por laboratorios de calibración acreditados o no acreditados en el campo de medición correspondiente. La ILC representa un medio muy eficaz para demostrar la competencia técnica del participante y también sirve como base técnica para la acreditación. Además, es el elemento más importante para el control de la calidad de las mediciones según lo exigido en la norma ISO/IEC 17025:2017 para laboratorios en las secciones 7.2.2 y 7.7.

Se listan los propósitos y objetivos de la ILC:

- **Evaluación del desempeño** de los laboratorios para pruebas o mediciones específicas y seguimiento del desempeño continuo de los laboratorios.
- **Identificación de problemas** en los laboratorios e inicio de acciones de mejora que, por ejemplo, pueden estar relacionados con procedimientos inadecuados de prueba o medición, efectividad de la capacitación y supervisión del personal, o calibración de equipos.
- Establecimiento de la **eficacia y comparabilidad** de los métodos de prueba o medición.
- **Valor agregado al nivel de confianza** para los clientes del laboratorio.
- **Identificación** de diferencias entre laboratorios.
- **Aprendizaje** de los laboratorios participantes basado en los resultados de tales comparaciones.
- **Validación** de las fuentes de incertidumbre.
- **Evaluación** de las características de desempeño de los métodos de calibración.
- **Asignación de valores a materiales de referencia** y evaluación de su idoneidad para su uso en procedimientos de prueba o medición específicos.
- **La participación exitosa** en la comparación entre laboratorios es uno de los requisitos necesarios de los organismos de acreditación para **obtener o mantener** la acreditación (ISO/IEC 17025:2017).

Con este objetivo, la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) recomienda fuertemente que los Centros Regionales de Instrumentos (RICs, por sus siglas en inglés) participen u organicen intercomparaciones entre laboratorios (ILCs, por sus siglas en inglés), dentro de otras recomendaciones especificadas en la Guía 8 de WMO WMO (2018).

Así, la ILC se organizó en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) que representa al Centro Regional de Instrumentos de la asociación regional III (RIC III, por sus siglas en inglés), y el Instituto Nacional de Tecnología Nacional (INTI) que representa al instituto nacional de metrología de Argentina, con la ayuda de la Agencia Ambiental de Eslovenia que representa al Centro Regional de Instrumentos de la asociación regional IV (RIC VI, por sus siglas en inglés), Universidad de Liubliana, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Laboratorio de Metrología y Calidad y el Instituto Nacional Italiano de Metrología (INRIM por sus siglas en italiano). Las áreas dentro del Servicio Meteorológico Nacional encargadas de llevar a cabo y coordinar esta experiencia fueron la Coordinación de Laboratorio e Instrumental (CLI) y la Dirección de Redes de Observación (DRO).



Figura 2: Sensor de presión PTB220 Vaisala.

2.1. Instrumentos y accesorios

A continuación, se listarán los instrumentos que componen el banco de medición par la variable presión:

- Cable de conexión y alimentación (ILC).
- Un sensor de presión PTB220 (ILC).
- Un termohigrómetro patrón Rotronic Hygropalm HP22 (SMN).
- Un sensor patrón PTB330, Vaisala (SMN).
- Un conversor RS232 a USB (SMN).
- Una bomba manual Ashcroft AVC-1000 PSI (SMN).
- Una PC con python y excel (SMN).

2.2. Diagrama de conexión para el banco de medición

En el esquema de la figura 3 se muestra como se dispusieron los instrumentos.

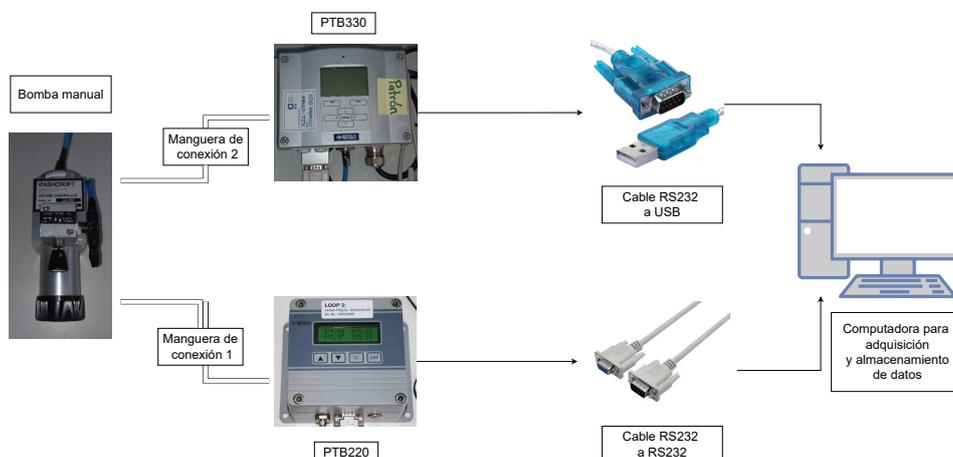


Figura 3: Esquema de conexión para el sensor de presión PTB220.

Siguiendo el esquema de la figura 3 puede verse que ambos sensores de presión (patrón e instrumento a calibrar) se conectaron a la bomba mediante las mangueras de conexión. Siguiendo la rama inferior del esquema, el barómetro a calibrar se conectó a una computadora por medio de un cable RS232 a RS232. Por otro lado, siguiendo la rama superior, el barómetro patrón se conectó a la computadora mediante un cable RS232 a USB.

2.3. Configuración de los instrumentos

No se configuraron programas para la toma de mediciones, salvo el software de adquisición explicado en la sección 2.4. En este caso, se utilizó una bomba de presión ASHCROFT® modelo AVC-1000 que permite ajustar la presión manualmente en el rango de vacío hasta 1000 PSI (por las siglas en inglés de la unidad de presión *Pounds per square inch*). En la sección 2.3.2 se describirá en detalle el funcionamiento de la misma.

Entonces, sobre la base del instructivo de la ILC RAIV (2021) se midieron los valores de presión especificados en la tabla 1.

800	850	900	950	1000	1050	hPa
-----	-----	-----	-----	------	------	-----

Tabla 1: Puntos de presión medidos con la bomba manual.

En este caso se realizaron 6 (seis) carreras en total, 3 (tres) ascendentes y 3 (descendentes) según el protocolo de calibración de barómetros digitales realizado en el laboratorio Aranda (2021). De cada punto a medir de la tabla 1, se tomaron 30 (treinte) mediciones a intervalos de 1 (uno) segundo.

Unos segundos antes de iniciar y finalizar las carreras, se anotaron las condiciones ambientales y mediante la bomba manual se llevó la presión de los barómetros a las presiones especificadas en la tabla 1.

2.3.1. Punto 950 hPa

El punto de medición inicial (*start measure*) para presión, se realizó a una presión de 950 hPa e indicando las condiciones ambientales. Para realizar las mediciones se utilizó la bomba manual y un programa de adquisición de datos mencionados y explicados en las secciones posteriores.

El procedimiento constó de variar la presión de los barómetros con la bomba manual hasta el valor de presión especificado y realizar las 30 (treinta) mediciones en cada punto. Esto se realizó partiendo desde el valor de presión más bajo al valor de presión más alto y viceversa, conformándose las 2 (dos) carreras ascendente y descendente. Para esta variable no se realizaron mediciones finales del punto de 950 hPa de presión.

2.3.2. Bomba manual de presión AVC-1000 PSI

La bomba de presión consta de 2 (dos) cámaras, una sobre la otra y conectadas entre sí; una cámara donde se encuentra la válvula de control y en la otra, la perilla. En la primera o cámara superior, hay una válvula de conexión con el ambiente que no se mueve ni puede cubrirse, en la figura 4 dicha válvula se encuentra a la izquierda, mientras que a la derecha de la misma figura puede verse la válvula que se puede conectar a un regulador de la presión interno o cancelarse su conexión mediante un tapón, como se realizó en esta experiencia. En esta cámara, la válvula de control puede estar abierta, lo que produce que toda la bomba y los dispositivos conectados a ella estén

a presión ambiente; o, puede cerrarse (empujándola suavemente hacia adelante), lo que provoca que se haga vacío en la cámara y pueda modificarse la presión de los instrumentos conectados (subirla o bajarla) mediante la perilla de la cámara inferior. Por otro lado, la segunda cámara o cámara inferior se conecta con la primera y a su vez tiene en el extremo frontal una válvula de conexión por la que se conectan los 2 (dos) barómetros utilizados en la calibración. Esta conexión se realiza a través de tubos de poliuretano NITPOL, producidos con elastómero de poliuretano termoplástico y una T N° 6. Además, en esta cámara se encuentra la perilla que permite modificar la presión de los barómetros (subir o bajar) una vez que se haya hecho vacío en la cámara superior. En la figura 4 a continuación puede visualizarse un esquema de la bomba y las cámaras con sus correspondientes válvulas y conexiones.

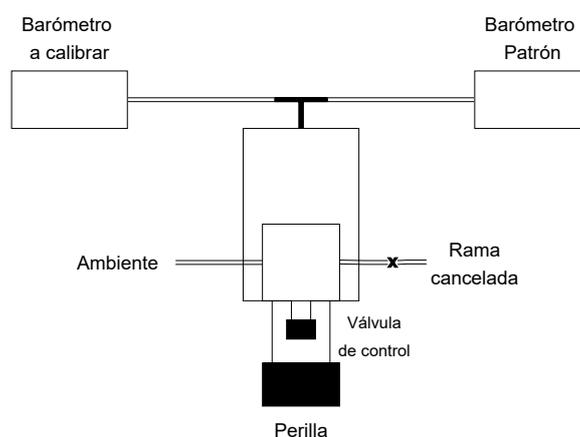


Figura 4: Esquema de la bomba y las conexiones con los barómetros.

2.3.3. Barómetro Patrón PTB330

El barómetro digital BAROCAP® PTB330 utilizado como patrón en la experiencia solo posee 1 (uno) módulo de barómetro BARO-1, es decir, un solo sensor de presión. Por lo que se configuró para que solo mostrase un valor de presión en el display del instrumento.

El barómetro PTB330 de Vaisala tiene la característica de comunicarse a través de puerto serie por protocolo RS232. La configuración de la comunicación serie utilizada es la especificada en la tabla 2 que además, debe especificarse en el software de adquisición detallado en la sección 2.4.

Puerto Serie	Velocidad [Baud Rate]	9600
	Bit de Datos	8
	Bits de Parada	1
	Paridad	par
	Control de Flujo	none
Datos	Modo de Comunicación	Run
	Intervalo Run [segundos]	1
	Dirección de Dispositivo	1
	Formato de los Datos	Estándar Vaisala
	Echo	Seleccionado

Tabla 2: Parámetros configurados en el barómetro patrón PTB330.

2.3.4. Barómetro bajo calibración PT220

El barómetro PTB220 estaba configurado para que el panel visualizador de las presiones mostrara 4 (cuatro) valores de presión, lo primeros tres correspondientes a las 3 cápsulas del sensor (valores llamados *UPPER LEFT - UL*, *LOWER LEFT - LL* y *UPPER RIGHT - UR*) y el cuarto valor correspondiente al promedio de las mediciones (*LOWER RIGHT - LR*), como se puede ver en la figura 5. Valores que se reportaron de manera independiente.



Figura 5: Panel visualizador del sensor de presión PTB220.

Por otro lado, el PTB220 envía datos y recibe comandos por puerto serie por protocolo RS232. De esta manera es posible configurar el intervalo de tiempo, configurado cada 1 (uno) segundo y el formato en que se envía el dato.

La configuración de la comunicación serie utilizada puede verse en la tabla 3 que debe especificarse en el software de adquisición detallado en la sección 2.4.

Puerto Serie	Velocidad [Baud Rate]	9600
	Bit de Datos	7
	Bits de Parada	1
	Paridad	par
	Control de Flujo	none
Datos	Modo de Comunicación	Run
	Intervalo Run [segundos]	1
	Dirección de Dispositivo	1
	Formato de los Datos	Estándar Vaisala
	Echo	Seleccionado

Tabla 3: Parámetros configurados en el barómetro bajo calibración PTB220.

2.4. Muestreo, almacenamiento y visualización datos.

La información que se mostrará a continuación fue extraída del archivo llamado Instructivo del banco de presión Corvalan (2022).

Para la lectura de los datos, se hizo uso de un *script* desarrollado en Python, con el cual se adquirieron los datos, viéndolos en pantalla por consola y almacenándolos en un archivo CSV en tiempo real.

La configuración de la comunicación serie utilizada debe especificarse en el *script* tanto para el PTB220 como el PTB330 como se especificó en las secciones 2.3.4 y 2.3.3 respectivamente. Además, debe configurarse el nombre del puerto al que están conectados ambos sensores. El código 1 a continuación muestra la sección donde se debe completar este tipo de comunicación.

```

1 #Configuracion del puerto Serie para el PTB220
2 puerto_comPTB220 = 'COM3' #Se debe colocar el nombre del puerto
3 baudrate_comPTB220 = 9600 #Se debe colocar el baudrate correspondiente
4 DatoBarometroPTB220_a_calibrar = serial.Serial(puerto_comPTB220,baudrate_comPTB220,parity=
    serial.PARITY_EVEN, stopbits=serial.STOPBITS_ONE, bytesize=serial.SEVENBITS)
5 #Configuracion del puerto serie para el PTB330 Patron
6 puerto_comPTB330 = 'COM6' #Se debe colocar el nombre del puerto
7 baudrate_comPTB330 = 9600 #Se debe colocar el baudrate correspondiente
8 DatoBarometroPTB330_patron = serial.Serial(puerto_comPTB330,baudrate_comPTB330)

```

Código 1: Configuración de los puertos serie para los barómetros.

Es necesario que esta configuración sea la misma tanto en el sensor como en la PC o en el dispositivo que se utilice para la adquisición del dato.

Una vez configurado los parámetros de la comunicación serie de cada barómetro, se envían una serie de comandos al PTB220.

Lo primero que hacemos es enviar el carácter "s" para detener cualquier envío que pudiera estar haciendo el sensor. Definimos la cadencia en 1 (uno) segundo con el comando **INTV 1**, el último comando es el carácter "r" con el que comienza el envío de datos. Entre cada comando enviado se hace esperar al código 2 (dos) segundos para esperar la respuesta del PTB220. Estos comandos enviados pueden verse en el código 2.

```

1 DatoBarometroPTB220_a_calibrar.write(b's\r\n') #Detenemos cualquier lectura del PTB220

```

```
2 print("Configurando PTB220 para la adquisición de datos")
3 time.sleep(2) #Aguardamos algunos segundos
4 DatoBarometroPTB220_a_calibrar.write(b'intv 1 s\r\n') #Seteamos la cedencia en 1 seg (comando
    INTV (ver manual))
5 time.sleep(2) #Aguardamos algunos segundos
6 DatoBarometroPTB220_a_calibrar.write(b'r\r\n') #Iniciamos env o de datos desde el PTB220
7 print("Iniciando Lectura...")
```

Código 2: Comandos iniciales enviados al sensor PTB220.

Luego de esto, el programa pasa a adquirir los datos con la cantidad de mediciones elegida. En este caso, 30 (treinta) mediciones.

```
1 #Variables a utilizar para la cantidad de mediciones que haremos en cada captura
2 cant_mediciones = 0
3 cant_mediciones_a_realizar = 30
```

Código 3: Configuración de la cantidad de mediciones.

Puede suceder que el sensor no responda a los comandos, en ese caso el programa avisa al operador a través de la consola imprimiendo el siguiente mensaje:

```
1 No se adquirieron datos, intentando nuevamente.
```

Código 4: Mensaje de aviso

Automáticamente se vuelven a enviar los comandos para iniciar la medición. En todas las pruebas realizadas como máximo ha sucedido en ocasiones dos intentos, esto en cuestión de segundos, por lo que no es un problema para la adquisición de los datos. En el caso de que no se realice la adquisición del dato proveniente del PTB220, el dato adquirido del PTB330 se descarta. Esto es para que los datos siempre sean capturados al mismo tiempo y no haya comparaciones entre datos desfasados en el tiempo.

El archivo en donde se van guardando los datos se crea en la misma carpeta en donde se encuentra el *script*. Si el archivo no existe, el programa lo crea. Luego, en cada toma de mediciones, anexa los nuevos datos a continuación de la última medición de la toma de datos anterior.

3. MÉTODO DE CALIBRACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE

3.1. Definiciones

A continuación se encontrarán ciertas definiciones a tener en cuenta para realizar el proceso de calibración.

Mesurando. Magnitud que se desea medir.

Magnitud. Propiedad de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que puede expresarse cuantitativamente mediante un número y una referencia.

Metrología. Ciencia de las mediciones y sus aplicaciones. Dentro de sus objetivos está el de la obtención y expresión del valor de las magnitudes, el cual siempre es una estimación a través del resultado de las mediciones realizadas con la incertidumbre de medida asociada.

Exactitud. Proximidad entre el resultado de la medición y el valor verdadero del mensurando. (Es una cualidad de la medición: no es precisión)

Resolución. Mínima diferencia entre valores indicados por un instrumento.

Repetibilidad. Precisión evaluada utilizando el mismo método de ensayo, sobre una idéntica muestra, ensayada por un solo analista, con el mismo equipamiento, dentro del mismo laboratorio y durante un lapso corto de tiempo.

Sensibilidad. El valor más pequeño distinto de cero que un instrumento puede indicar. En electrónica, la sensibilidad es la mínima magnitud en la señal de entrada requerida para producir una determinada magnitud en la señal de salida, dada una determinada relación señal/ruido, u otro criterio especificado.

Tiempo de respuesta. Tiempo requerido para que la salida de un sensor cambie de su estado anterior a un valor establecido final, dentro de una banda de tolerancia del nuevo valor correcto.

Tolerancia. Diferencia entre las dimensiones máximas y mínimas de los errores permitidos. Puede llamarse tolerancia, al rango de error permitido prescrito por las normas internacionales.

Precisión. Define la repetibilidad de la medición. Una medición precisa es una medición repetitiva, con poca o nula variación en sus resultados.

Exactitud. Concordancia entre un valor medido y un valor verdadero del mesurando. Una medición más exacta es cuando presenta un error de medición menor.

Incertidumbre. Parámetro no negativo, asociado al resultado de la medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente asignados al mesurando. Según la naturaleza de la misma puede tener diferentes clasificaciones.

Incertidumbre de tipo A. Evaluación muestral o estadística de la incertidumbre, basada en datos experimentales.

Incertidumbre de tipo B. Evaluación basada en conocimientos previos, a ser, certificado de calibración o manuales, etc.

Presupuesto de Incertidumbre. Documento que integra todas las incertidumbres asociadas a diferentes factores que alteran a la medición.

Fuentes de Incertidumbre. Factores que alteran la medición, los cuales se cuantifican al asociarles una incertidumbre.

Trazabilidad. Propiedad de un resultado de medida por la cual dicho resultado puede relacionarse con un valor de referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida. La trazabilidad metrológica requiere una jerarquía de calibración establecida.

Densidad de Probabilidad. Forma de representar un conjunto de valores de una magnitud y cuán adecuadamente cada valor representa a dicha magnitud.

Función de Distribución de Probabilidad. Forma matemática de representar a la densidad de probabilidad, es decir, indica la probabilidad de que una variable aleatoria tome cualquier valor dado o pertenezca a un conjunto de valores. Existen diferentes tipos de distribuciones con sus parámetros asociados (variables matemáticas que tienen ciertas características).

Distribución de tipo Normal. Distribución donde los resultados centrales, cercanos al promedio o media aritmética son más probables. Y a medida que te alejas de ese promedio, la probabilidad de encontrar valores en ese intervalo disminuye. Parámetros asociados: o media aritmética y o desvío estándar, estos parámetros son teóricos, por lo que se estiman a través del promedio de las mediciones (\bar{x}) y desvío estándar muestral (s):

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \qquad s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

donde x_i corresponde al valor de cada una de las mediciones y n corresponde al número de mediciones. Se provee una incertidumbre en forma de intervalo de confianza.

Distribución de tipo Rectangular o Uniforme. Distribución donde todos los resultados son igualmente probables dentro de un intervalo (a, b) . Suele usarse esta clasificación cuando en alguna magnitud se especifican los límites pero no el nivel de confianza. En este caso, se estima el desvío estándar con la siguiente fórmula de desvío muestral:

$$s = \frac{b - a}{\sqrt{12}} \qquad (1)$$

Distribución de tipo Triangular. La probabilidad de obtener los valores cercanos al centro es más alta que la de obtener los valores cercanos a los límites, pero a diferencia de la distribución normal los valores de los extremos

son improbables. En este caso, se estima el desvío estándar con la siguiente fórmula de desvío muestral:

$$s = \frac{a}{\sqrt{6}} \quad (2)$$

Factor de distribución. Parámetro no negativo por el que se divide el valor asociado a cada fuente de incertidumbre y varía según el tipo de distribución considerada.

Incertidumbre Estándar. Cantidad que representa al desvío estándar (herramienta estadística) en metrología.

Incertidumbre Combinada. Cantidad que representa la sumatoria de las incertidumbres combinadas de todas las fuentes de incertidumbre con el peso (coeficiente de sensibilidad) correspondiente.

Coefficiente de Sensibilidad. Cantidad, que representa el peso que cada fuente de incertidumbre tiene en la incertidumbre combinada, puede obtenerse a través de las derivadas parciales del modelo matemático o experimentalmente. En el caso de que no se tenga ninguna información de lo anterior, suele estimarse utilizando un coeficiente de sensibilidad igual a 1.

Factor de Cobertura. Número positivo, mayor a 1 que representa un porcentaje de confianza, el cual te asegura con qué probabilidad se puede encontrar un valor en un intervalo. Suele utilizarse la letra k para denominarlo.

Para todas las variables medidas en esta experiencia se utilizó un factor de cobertura de 2 (dos).

Incertidumbre Expandida. Incertidumbre combinada multiplicada por el factor de cobertura k. Cantidad que se informa junto con el resultado de las mediciones, conformándose como un intervalo alrededor del valor de las mediciones en el cual se puede encontrar al resultado real de esa magnitud.

3.2. Método de Calibración

El proceso de la estimación de la incertidumbre de la medida consta de 4 etapas, a ser:

- Etapa 1: en la cual se especifica el mesurando.
- Etapa 2: donde se identifican las fuentes de incertidumbre.
- Etapa 3: etapa en la que se cuantifican las fuentes de incertidumbre antes mencionadas.
- Etapa 4: etapa final donde se calculan las incertidumbres combinadas y las incertidumbres expandidas de cada mesurando.

Entonces, el mesurando considerado en esta nota técnica es la presión. A continuación, se identificarán y especificarán las fuentes de incertidumbre de dicha variable meteorológica. La identificación de estas fuentes se basó

en las fuentes especificadas en la Nota Técnica SMN 2021-102 Skabar (2021). La cuantificación de las fuentes de incertidumbre se realiza generalmente a través de desvíos estándar e informaciones previas de los certificados de calibración correspondientes.

3.2.1. Fuentes de incertidumbre consideradas para la variable presión

En la tabla 4 pueden verse las fuentes de incertidumbre para la variable presión. Las mismas están clasificadas según correspondan a incertidumbres asociadas al patrón o al instrumento bajo calibración (IBC), como puede verse en la primera columna de dicha tabla. En la tercer columna, hay una breve descripción de las fuentes y del lugar de obtención en el caso de que sea información proveniente de certificados o manuales. Además, en las columnas siguientes se especifican el tipo de incertidumbre (columna 4) y la distribución asociada según lo definido y explicado en la sección 3.1. En la última columna se especifica el factor de distribución, que se utiliza como divisor del valor asociado a cada fuente en específico para normalizarlo. A la bomba manual utilizada dentro del banco de presión no se le asoció ningún valor de incertidumbre.

Fuentes de Incertidumbre		Obtención y Descripción	Tipo	Distribución	Factor de Distribución
Patrón	Calibración	Certificado de calibración.	B	N	2
	Ajuste de Calibración	Desvío estándar del ajuste lineal con los datos discretos del certificado de calibración.	A	N	$\sqrt{12}$
	Resolución Instrumento	Manual del instrumento.	B	R	$\sqrt{12}$
	Repetibilidad	Desvío estándar de la media aritmética de las mediciones.	A	N	2
	Histéresis	Diferencia entre los valores de mediciones realizadas en las carreras ascendentes y descendentes.	A	R	$\sqrt{12}$
IBC	Resolución Instrumento	Manual del instrumento.	B	R	$\sqrt{12}$
	Repetibilidad	Desvío estándar de la media aritmética de las mediciones.	A	N	2
	Histéresis	Diferencia entre los valores de mediciones realizadas en las carreras ascendentes y descendentes.	A	R	$\sqrt{12}$

Tabla 4: Fuentes de Incertidumbre para la variable Presión.

4. PROCESAMIENTO DE DATOS

En esta sección, se detalla la etapa final (Etapa 4) de cálculo de incertidumbres combinada y expandida. Para el procesamiento del gran volumen de datos y la generación de gráficos y tablas, que nos permitieron analizar los resultados, y teniendo en cuenta que el tiempo límite para la entrega de resultados al laboratorio de referencia era de 4 (cuatro) semanas, el equipo de trabajo tomó la siguiente decisión. En lugar de optar por el método tradicional que venía manejando el personal de laboratorio para el procesamiento de los datos, que constaba en procesar de forma independiente cada punto de medición para la variable temperatura, cargando las fuentes de incertidumbre en

una tabla de *Excel* de forma manual y copiando los resultados obtenidos también forma manual, lo cual implicaba muchas horas de trabajo, se desarrolló un programa parametrizado en el lenguaje de programación *Python*. El mismo, a partir de los archivos que contienen a las mediciones crudas de la variable presión, permite:

- Cargar y seleccionar los datos a procesar.
- Cargar información necesaria vinculada al sensor patrón y al sensor bajo calibración.
- Definir las rutas de la PC, para guardar las tablas e imágenes generadas.
- Generar un gráfico interactivo, para elegir y separar los datos en forma iterativa, a fin de seleccionar correctamente con que datos trabajar.
- Una vez seleccionados los datos, automatizar el proceso de los datos crudos y armar una matriz de mediciones que permita procesar los todos los puntos de medición para cada variable de forma iterativa.
- Procesar la matriz de mediciones devolviendo los datos promediados, los desvíos estándar asociados y la histéresis de las mediciones ascendente vs. la descendente.
- Procesar los datos de los certificados de calibración, de estabilidad y uniformidad (si lo tuviera) y calcular el presupuesto de incertidumbre, para cada matriz de mediciones.
- Graficar dichos resultados, realizando el ajuste de los datos mediante regresión lineal.
- Imprimir los resultados en una tabla de Excel.

En esta sección no se mostrará el código utilizado. No obstante, el mismo puede visualizarse en la sección A.1 y las funciones implementadas pueden ser solicitadas a los autores de esta nota.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

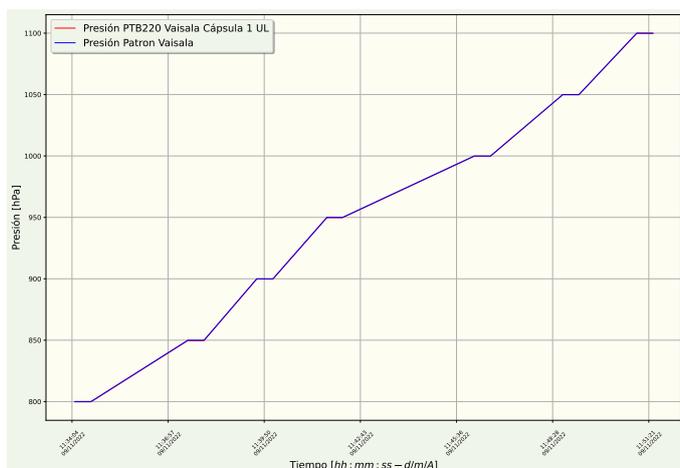
En esta sección se presentan los resultados de la calibración del sensor de presión. Estos resultados se analizarán de forma separada según la clasificación de las 3 (tres) cápsulas del IBC y los resultados del promedio de las cápsulas.

Para la toma de mediciones de esta variable en particular, no existe el régimen transitorio ni régimen permanente, ya que no se toman muestras durante estos intervalos de tiempo. No obstante, previo a la toma de mediciones se espera 2 (dos) horas para la estabilización de todo el sistema. A su vez, cada vez que se llega a un nuevo punto de medición, se espera unos segundos antes de realizar la medición para que establezca la presión.

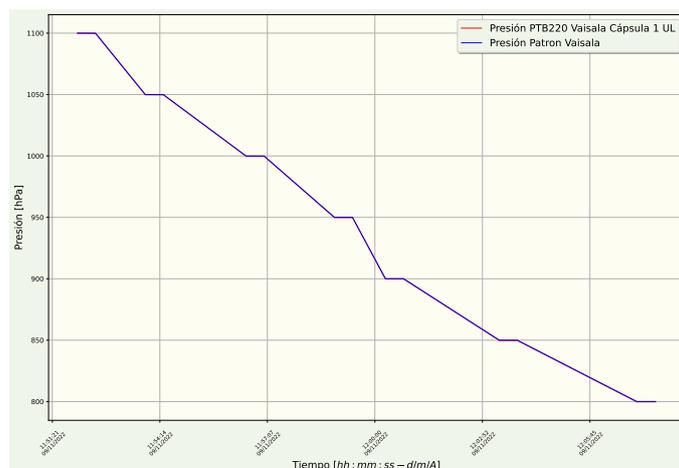
Como puede verse en los gráficos presentados en las subsecciones siguientes de los datos crudos, la variable presión es la más estable de todas las variables consideradas en esta experiencia.

5.1. Cápsula 1 - Upper Left (UL)

En la figura 6a se observa el las mediciones ascendentes y en la 6b las mediciones descendentes para la cápsula 1 (UL) del sensor PTB220 vs. el patrón PTB330.



(a) Mediciones sin procesar de la cápsula 1 en el ciclo ascendente.



(b) Mediciones sin procesar de la cápsula 1 en el ciclo descendente.

Figura 6: Datos sin procesar de la variable presión en la cápsula 1 del sensor PTB220.

En la figura 7 y en la tabla 5 se pueden observar los resultados de la histéresis del sensor. Cada punto se obtuvo como el promedio de 30 (treinta) muestras. En particular, el valor máximo de histéresis obtenido para el patrón es, en módulo, de 0,1 hPa y para el IBC en módulo es de 0,09 hPa. También se puede ver que el error relativo de la pendiente tomando tres decimales significativos es despreciable y el error relativo para la ordenada al origen es de 9 %, este simple calculo nos asegura el correcto funcionamiento del instrumento.

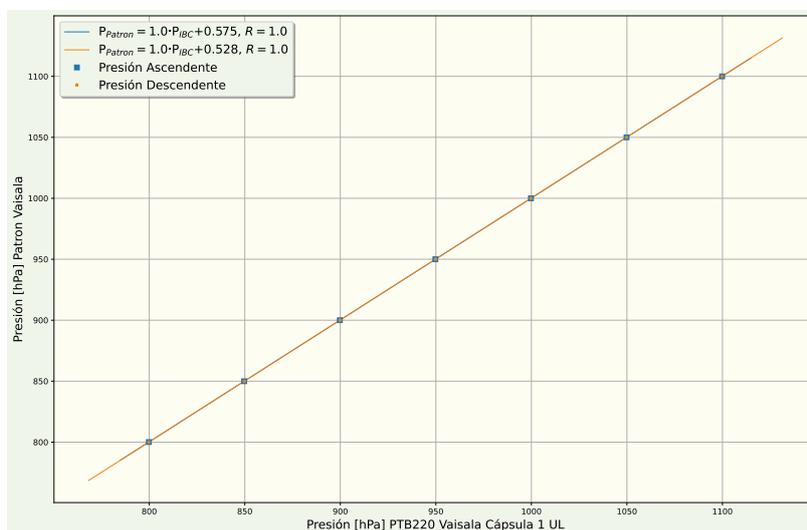


Figura 7: Curva de histéresis para la cápsula 1.

Presión Promedio Patrón Asc [hPa]	Presión Promedio Patrón Des [hPa]	Histéresis Patrón [hPa]	Presión Promedio IBC Asc [hPa]	Presión Promedio IBC Des [hPa]	Histeresis IBC [hPa]
800.07	800.04	0.03	799.79	799.77	0.01
849.95	850.00	-0.05	849.69	849.74	-0.05
900.00	900.09	-0.10	899.76	899.85	-0.09
949.97	950.05	-0.08	949.75	949.82	-0.07
999.98	999.95	0.03	999.78	999.74	0.04
1049.99	1049.99	0.01	1049.81	1049.8	0.01
1099.99	1099.98	0.01	1099.82	1099.81	0.01

Tabla 5: Tabla de histéresis para la cápsula 1 del sensor de presión PTB220.

En la figura 8 y en la tabla 6 se pueden observar los resultados de la calibración del sensor. Los resultados de esta calibración se evaluarán en base al apéndice A.2.

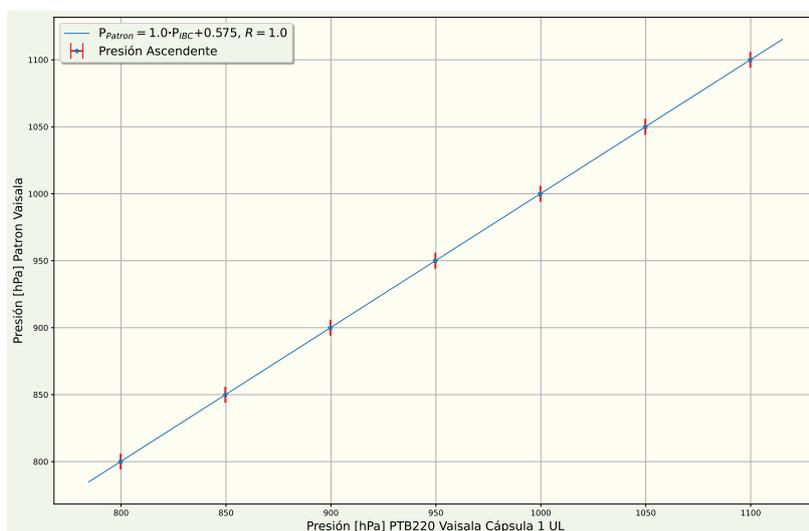


Figura 8: Curva de calibración para la cápsula 1.

Presión Promedio Corregida Patrón Asc [hPa]	Presión Promedio IBC Asc Cápsula 1 [hPa]	Correcciones IBC Asc [hPa]	Incertidumbre Combinada IBC Asc [hPa]	Incertidumbre Expandida IBC Asc [hPa]	Histeresis IBC [hPa]
799.67	799.79	-0.11	0.10	0.20	0.01
849.56	849.69	-0.13	0.10	0.20	-0.05
899.61	899.76	-0.15	0.10	0.20	-0.09
949.59	949.75	-0.16	0.10	0.20	-0.07
999.6	999.78	-0.18	0.10	0.20	0.04
1049.62	1049.81	-0.20	0.10	0.20	0.01
1099.62	1099.82	-0.20	0.10	0.20	0.01

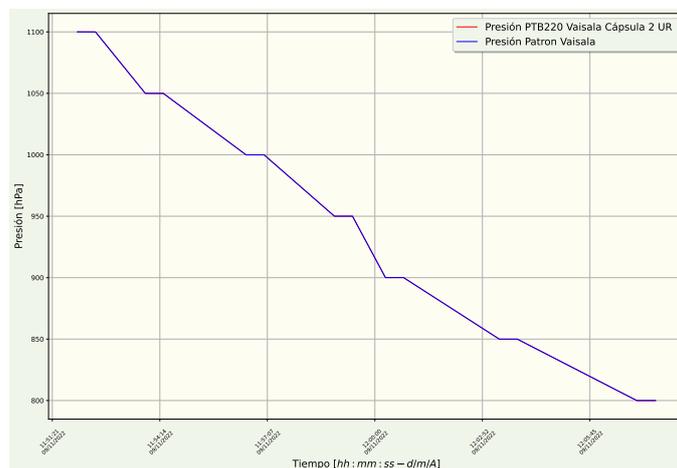
Tabla 6: Tabla de calibración para la cápsula 1 del sensor de presión PTB220.

5.2. Cápsula 2 - Upper Right (UR)

En la figura 9a se observan las mediciones ascendentes y en la 9b las mediciones descendentes para la cápsula 2 (UR) del sensor PTB220 vs. el patrón PTB330.



(a) Mediciones sin procesar de la cápsula 2 en el ciclo ascendente.



(b) Mediciones sin procesar de la cápsula 2 en el ciclo descendente.

Figura 9: Datos sin procesar de la variable presión en la cápsula 2 del sensor PTB220.

En la figura 10 y en la tabla 7 se pueden observar los resultados de la histéresis del sensor. En particular, el valor máximo de histéresis obtenido para el patrón es, en módulo, de 0,10 hPa para el punto de 900 hPa y para el IBC, en módulo, es de 0,09 hPa para el punto medido de 900 hPa. También se puede ver que el error relativo de la pendiente tomando tres decimales significativos es despreciable y el error relativo para la ordenada al origen es de 3,5 %, este simple cálculo nos asegura el correcto funcionamiento del instrumento.

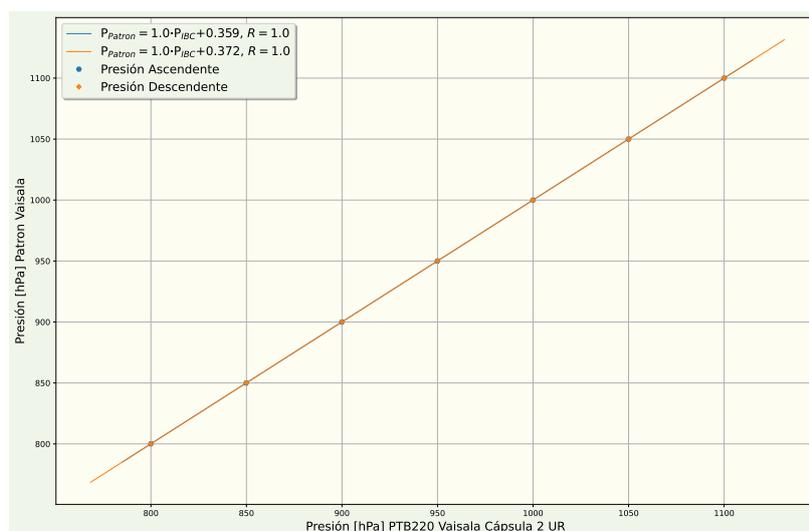


Figura 10: Curva de histéresis para la cápsula 2.

Presión Promedio Patrón Asc [hPa]	Presión Promedio Patrón Des [hPa]	Histéresis Patrón [hPa]	Presión Promedio IBC Asc [hPa]	Presión Promedio IBC Des [hPa]	Histéresis IBC[hPa]
800.07	800.04	0.03	799.97	799.94	0.03
849.95	850.00	-0.05	849.86	849.91	-0.05
900.00	900.09	-0.1	899.93	900.02	-0.09
949.97	950.05	-0.08	949.92	949.99	-0.07
999.98	999.95	0.03	999.95	999.91	0.04
1049.99	1049.99	0.01	1049.98	1049.99	0.01
1099.99	1099.98	0.01	1099.99	1099.98	0.01

Tabla 7: Tabla de histéresis para la cápsula 2 del sensor de presión PTB220.

En la figura 11 y en la tabla 8 se pueden observar los resultados de la calibración del sensor. Los resultados de esta calibración se evaluarán en base al apéndice A.2.

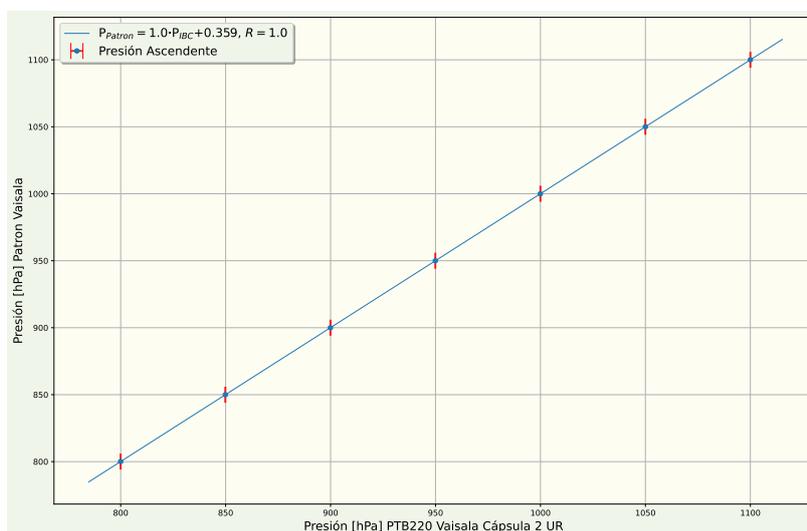


Figura 11: Curva de calibración para la cápsula 2.

Presión Promedio Corregida Patrón Asc [hPa]	Presión Promedio IBC Asc [hPa]	Correcciones IBC Asc [hPa]	Incertidumbre Combinada IBC Asc [hPa]	Incertidumbre Expandida IBC Asc [hPa]	Histéresis IBC[hPa]
799.67	799.97	-0.30	0.10	0.20	0.03
849.56	849.86	-0.31	0.10	0.20	-0.05
899.61	899.93	-0.32	0.10	0.20	-0.09
949.59	949.92	-0.33	0.10	0.2	-0.07
999.6	999.95	-0.35	0.10	0.20	0.04
1049.62	1049.98	-0.37	0.10	0.20	0.01
1099.62	1099.99	-0.37	0.10	0.21	0.01

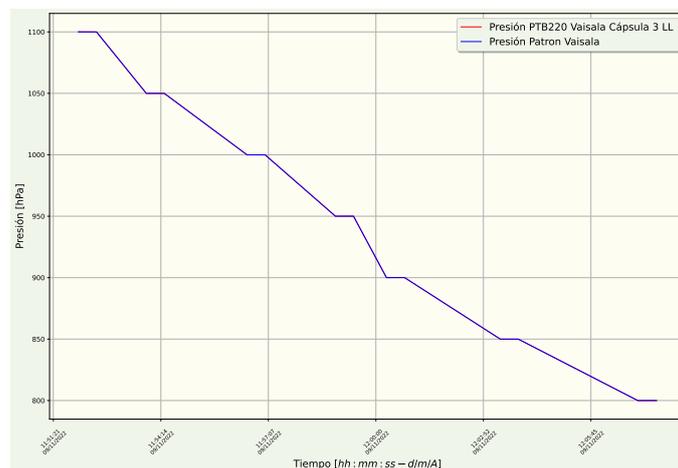
Tabla 8: Tabla de calibración para la cápsula 2 del sensor de presión PTB220.

5.3. Cápsula 3 - Lower Left (LL)

En la figura 12 se observa las mediciones ascendentes y descendentes de para la cápsula e (LL) del sensor PTB220 vs. el patrón PTB330.



(a) Mediciones sin procesar de la cápsula 3 en el ciclo ascendente.



(b) Mediciones sin procesar de la cápsula 3 en el ciclo descendente.

Figura 12: Datos sin procesar de la variable presión en la cápsula 3 del sensor PTB220.

En la figura 13 y en la tabla 9 se pueden observar los resultados de la histéresis del sensor. En particular, el valor máximo de histéresis obtenido para el patrón es, en módulo, de 0,1 hPa y para el IBC en módulo es de 0,09 hPa. También se puede ver que el error relativo de la pendiente tomando tres decimales significativos es despreciable y el error relativo para la ordenada al origen es de 3%, este simple cálculo nos asegura el correcto funcionamiento del instrumento.

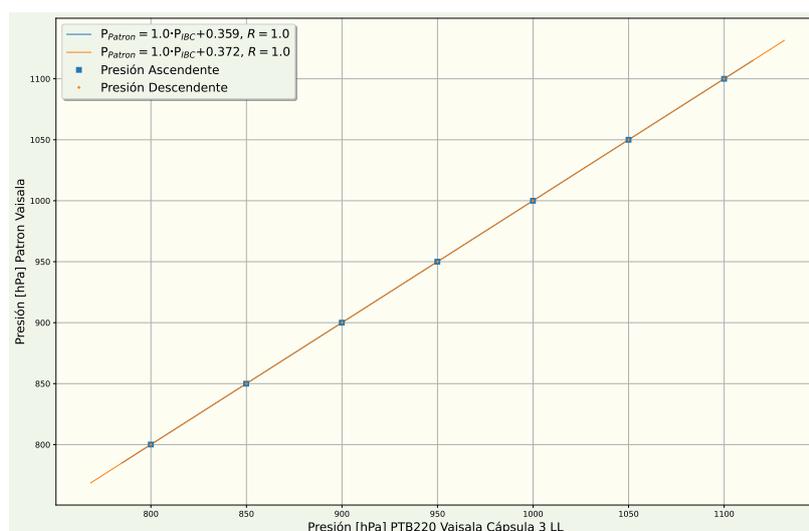


Figura 13: Curva de histéresis para la cápsula 3.

Presión Promedio Patrón Asc [hPa]	Presión Promedio Patrón Des [hPa]	Histeresis Patrón [hPa]	Presión Promedio IBC Asc [hPa]	Presión Promedio IBC Des [hPa]	Histeresis IBC [hPa]
800.07	800.04	0.03	799.97	799.94	0.03
849.95	850.00	-0.05	849.86	849.91	-0.05
900.00	900.09	-0.1	899.93	900.02	-0.09
949.97	950.05	-0.08	949.92	949.99	-0.07
999.98	999.95	0.03	999.95	999.91	0.04
1049.99	1049.99	0.01	1049.98	1049.99	0.01
1099.99	1099.98	0.01	1099.99	1099.98	0.01

Tabla 9: Tabla de histéresis para la cápsula 3 del sensor de presión PTB220.

En la figura 8 y en la tabla 6 se pueden observar los resultados de la calibración del sensor. Los resultados de esta calibración se evaluarán en base al apéndice A.2.

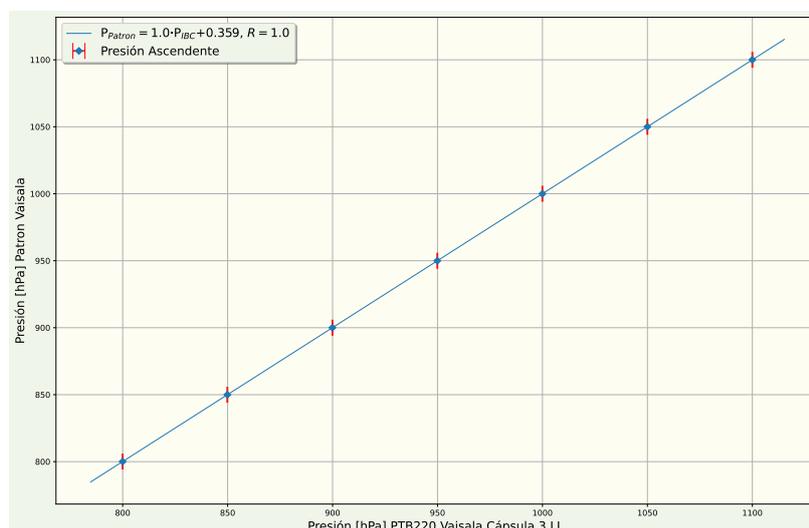


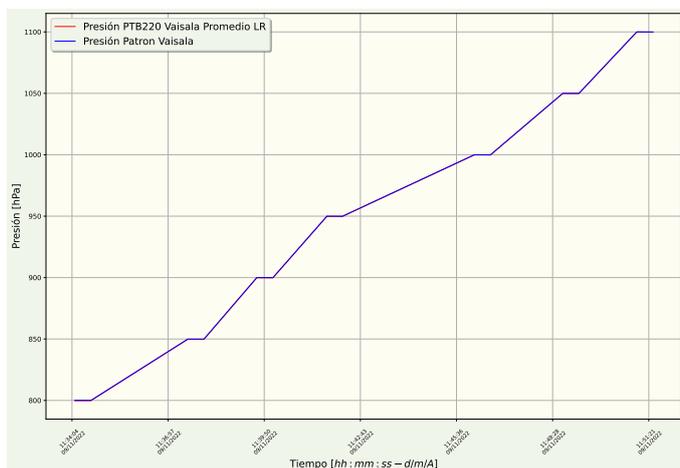
Figura 14: Curva de calibración para la cápsula 3.

Presión Promedio Corregida Patrón Asc [hPa]	Presión Promedio IBC Asc [hPa]	Correcciones IBC Asc [hPa]	Incertidumbre Combinada IBC Asc [hPa]	Incertidumbre Expandida IBC Asc [hPa]	Histeresis IBC [hPa]
799.67	799.97	-0.30	0.10	0.20	0.03
849.56	849.86	-0.31	0.10	0.20	-0.05
899.61	899.93	-0.32	0.10	0.20	-0.09
949.59	949.92	-0.33	0.10	0.20	-0.07
999.6	999.95	-0.35	0.10	0.20	0.04
1049.62	1049.98	-0.37	0.10	0.20	0.01
1099.62	1099.99	-0.37	0.10	0.21	0.01

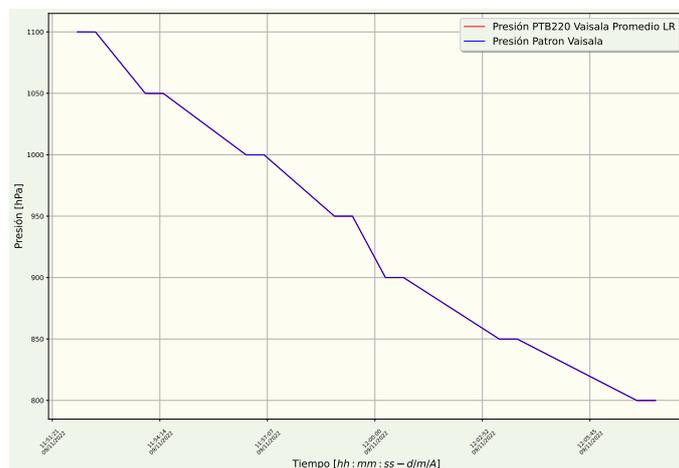
Tabla 10: Tabla de calibración para la cápsula 3 del sensor de presión PTB220.

5.4. Promedio - Lower Right (LR)

En la figura 15 se observa las mediciones ascendentes y descendentes de para el promedio de las tres cápsulas del sensor PTB220 vs. el patrón PTB330.



(a) Promedios de las mediciones sin procesar en el ciclo ascendente.



(b) Promedios de las mediciones sin procesar en el ciclo descendente.

Figura 15: Promedios de los datos sin procesar de la variable presión en sensor PTB220.

En la figura 16 y en la tabla 11 se pueden observar los resultados de la histéresis del sensor. En particular, el valor máximo de histéresis obtenido para el patrón es, en módulo, de 0,1 hPa y para el IBC en módulo es de 0,09 hPa. También se puede ver que el error relativo de la pendiente tomando tres decimales significativos es despreciable y el error relativo para la ordenada al origen es de 3%, este simple cálculo nos asegura el correcto funcionamiento del instrumento.

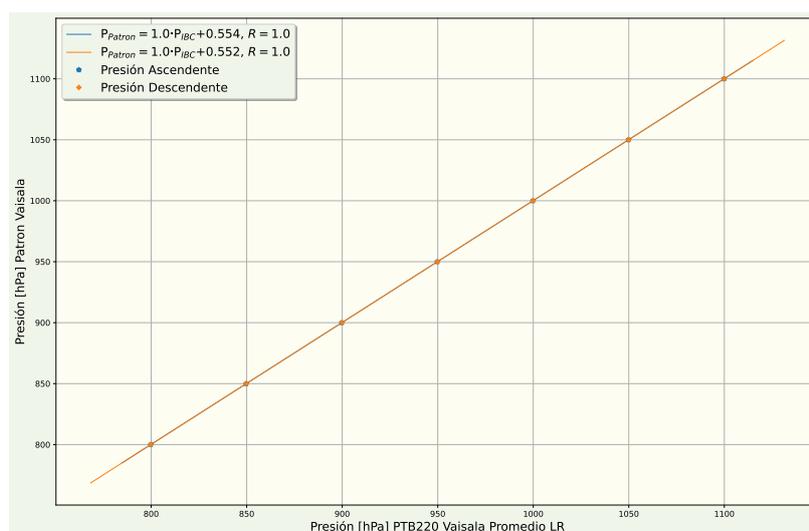


Figura 16: Curva de histéresis para los promedios.

Presión Promedio Patrón Asc [hPa]	Presión Promedio Patrón Des [hPa]	Histéresis Patrón [hPa]	Presión Promedio IBC Asc [hPa]	Presión Promedio IBC Des [hPa]	Histeresis IBC [hPa]
800.07	800.04	0.03	799.84	799.82	0.02
849.95	850.00	-0.05	849.74	849.79	-0.04
900.00	900.09	-0.1	899.81	899.9	-0.09
949.97	950.05	-0.08	949.8	949.87	-0.07
999.98	999.95	0.03	999.83	999.79	0.04
1049.99	1049.99	0.01	1049.87	1049.86	0.01
1099.99	1099.98	0.01	1099.89	1099.88	0.01

Tabla 11: Tabla de histéresis para los promedios de las mediciones del sensor de presión PTB220.

En la figura 17 y en la tabla 12 se pueden observar los resultados de la calibración del sensor. Los resultados de esta calibración se evaluarán en base al apéndice A.2.

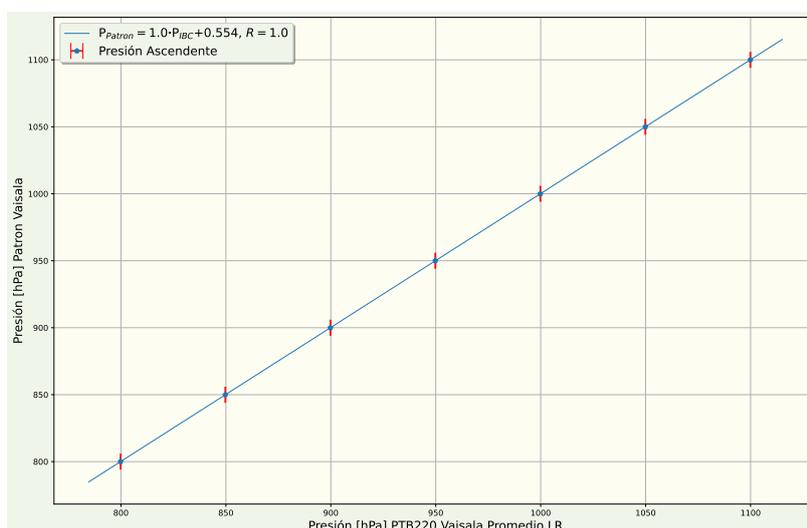


Figura 17: Curva de calibración para los promedios de las mediciones.

Presión Promedio Corregida Patrón Asc [hPa]	Presión Promedio IBC Asc [hPa]	Correcciones IBC Asc [hPa]	Incertidumbre Combinada IBC Asc [hPa]	Incertidumbre Expandida IBC Asc [hPa]	Histeresis IBC [hPa]
799.67	799.84	-0.17	0.10	0.20	0.02
849.56	849.74	-0.19	0.10	0.20	-0.04
899.61	899.81	-0.2	0.10	0.20	-0.09
949.59	949.8	-0.21	0.10	0.20	-0.07
999.6	999.83	-0.23	0.10	0.20	0.04
1049.62	1049.87	-0.25	0.10	0.20	0.01
1099.62	1099.89	-0.27	0.10	0.20	0.01

Tabla 12: Tabla de calibración para los promedios de las mediciones del sensor de presión PTB220.

6. CONCLUSIONES

Damos por concluida la primera de muchas participaciones del SMN en la Intercomparación entre Laboratorios (ILC), cuya organización fue llevada a cabo por el SMN, que alberga al Centro Regional de Instrumentos de Buenos Aires (RIC III) y el INTI; con el apoyo de la asociación regional VI, miembro de la WMO conformado por la Agencia Ambiental de Eslovenia (RIC VI), la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Liubliana, el Laboratorio de Metrología y Calidad y el Instituto Nacional de Metrología Italiano (INRIM).

Luego de haber realizado la calibración del barómetro con la bomba de vacío manual, se obtuvieron incertidumbres expandidas al rededor de 0,2 hPa, como puede verse en la tabla 12 . Los valores obtenidos fueron coherentes para el proceso de calibración realizado con una bomba de vacío. Por ejemplo, para 1100 hPa, si consideramos una tolerancia de 1 hPa, habiendo obtenido una incertidumbre expandida en valor absoluto de 0,2 hPa y una corrección en valor absoluto, 0,27 hPa, vemos que la suma de la corrección más la incertidumbre es menor a la tolerancia propuesta. Esta tolerancia es aceptable para aplicaciones meteorológicas. Sin embargo, consideramos que se podría mejorar nuestro proceso de calibración para reducir la incertidumbre a través del uso de sensores patrones con mayor sensibilidad, menor tiempo de respuesta y mejor resolución, mejorar el set up del banco de medición y el método de calibración, como así también caracterizar con mayor detalle el mesurando presión.

La participación en la ILC nos propuso como desafío la revisión y la mejora del procedimiento de calibración. De esta forma, el equipo de trabajo del SMN tuvo que realizar múltiples reuniones para definir y acordar los pasos a seguir en cada etapa, tanto en lo teórico, como lo práctico. Además, para implementar los cálculos y procesamiento de los datos, se desarrolló un software que nos permitió acortar los tiempos de procesamiento y análisis, quedando este como herramienta para futuras calibraciones.

Si bien, aún estamos a la espera de la evaluación de nuestros resultados en base al error normalizado, por parte de los laboratorios de referencia, observamos la importancia de participar en este tipo de proyectos, ya que nos permite mejorar los procedimientos aplicados a las variables medidas, poder encontrar cuáles son las deficiencias de nuestro instrumental de laboratorio y aprender de la experiencia de otros laboratorios de referencia mediante el trabajo en equipo.

AGRADECIMIENTOS

Damos las gracias a las personas que conforman las áreas de la Coordinación de Laboratorio e Instrumental y de Redes de Observación del Servicio Meteorológico Nacional por su apoyo, comunicación y trabajo en equipo para llevar a cabo esta enriquecedora experiencia.

Además, le damos un especial agradecimiento al Lic. Javier Skabar y el Prof. Victor Miranda, miembros del INTI por su ayuda, consejos y buena predisposición.

REFERENCIAS

Aranda, N. G., 2021: Calibración de barómetros digitales.

Corvalan, H., 2022: *Instructivo Banco de Presión*. Servicio Meteorológico Nacional - Coordinación de Laboratorio e Instrumental.

RAIV, 2021: *Intercomparison in the field of temperature, humidity and pressure MM-ILC-2021-THP: Expert team on Quality Traceability and Calibration*. World Meteorological Organization, final ILC protocol, Instruction for the participants in the interlaboratory comparison in regional association III.

Skabar, N. G. A. R. N. M. J. G., 2021: Optimización de los métodos y procedimientos de calibración de termohigrómetros en el centro regional de instrumentos de buenos aires. NOTA TÉCNICA SMN 2021-102.

WMO, 2018: *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación (OMM- N°8): Volumen I - Mediciones de Variables Meteorológicas*. Organización Meteorológica Mundial.

A. Apéndice

A.1. Código para el procesamiento de los datos

El algoritmo que procesa los datos puede visualizarse en el código 5. En este código se implementan los pasos detallados en la sección 4 .

```
1 '''
2 Autor: Cristian Aranda
3
4 Fecha: 19/11/2022
5
6 Titulo: Script para calcular el presupuesto de incertidumbre de mediciones.
7
8 Nota: EL operador que interactue con este script debe completar cierta informacion, cualquier
9       consulta
10      enviar un email a caranda@smn.gov.ar
11
12 '''
13
14
15
16 import numpy as np
17
18 import scipy as sp
19
20 from scipy.io import savemat
21
22 import matplotlib.pyplot as plt
23
24 import matplotlib.dates
25
26 from datetime import datetime
27
28
29
30 import serial, re, time
31
32 from funciones import *
33
34
35
36
37
38
39
40 # Cargar de datos
41
42 DatosAsc = np.loadtxt("ILC_11_2022\Presi n PTB220\PresionAscendente.csv",
43
44                     dtype='str',
45
46                     delimiter = ';',
```

```
47
48         skiprows=1)
49
50
51
52 DatosDes = np.loadtxt("ILC_11_2022\Presi n PTB220\PresionDescendente.csv",
53
54         dtype='str',
55
56         delimiter = ';',
57
58         skiprows=1)
59
60
61
62 # Datos de los sensores
63
64 '''Patron'''
65
66 Magnitud_Patron = "Presi n"
67
68 Unidad_Patron = "hPa"
69
70 Marca_Patron = "Patron Vaisala"
71
72
73
74 ''' IBC's '''
75
76 Magnitud = "Presi n"
77
78 Unidad = "hPa"
79
80 Marca = "PTB220 Vaisala C psula 3 LL "
81
82
83
84 '''Elegimos el numero de columnas donde estan nuestros datos'''
85
86 # sensor IBC Temp
87
88 ColDatosInst = 5
89
90 # sensor 1 Patron Temp
91
92 ColDatosInst_PatronTemp = 3
93
94
95
96 ColFecha = 1
97
98 # Hora
99
100 ColHora = 2
101
102
```

```
103
104 '''Elegimos ruta y titulos para nuestros graficos'''
105
106
107
108 RutaImagen = "ILC_11_2022\Presi n PTB220\imagenes"
109
110 titulo_As = "Ascendente"
111
112 titulo_des = "Descendente"
113
114
115
116 '''Parseamos las mediciones, modificar estos tiempo en funcion de la camara Aralab'''
117
118 # tiempos de la camara para PT100
119
120
121
122 # tiempos de la camara para puntos SOLO TEMPERATURA
123
124 ts1 = 0 # tiempo de subida o bajada
125
126 te1 = 0 # tiempo de estabilizacion
127
128 tm1 = 30 # tiempo de medicion
129
130 ttFinalSoloTemp = ts1 + te1 +tm1 # 150
131
132 # tiempos de la camara para puntos con TEMPERATURA Y HUMEDAD
133
134 ts2 = 0 # tiempo de subida o bajada
135
136 te2 = 0 # tiempo de estabilizacion
137
138 tm2 = 0 # tiempo de medicion
139
140 ttFinalTemp_RH = ts2 + te2 +tm2 # 335
141
142
143
144 '''Cambiar la cantidad de puntos de temperatura y humedad'''
145
146 PuntosSoloTemp = 7
147
148 PuntosTemp_RH = 0
149
150 cantidadDeMuestras = 30
151
152 PuntosMedidos = PuntosSoloTemp + PuntosTemp_RH
153
154
155
156 '''Este vector me dice cuantas mediciones debo shiftear para obtener datos cohetentes en cada
157 punto '''
```

```
158 shifteo_Asc = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
159
160 shifteo_Patron_Asc = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
161
162
163
164 '''Este vector me dice cuantas mediciones debo shiftear para obtener datos cohetentes en cada
    punto '''
165
166 shifteo_Des = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
167
168 shifteo_Patron_Des = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
169
170
171
172 ''' ingresamos los datos de calibracion del sensor patron'''
173
174 DatosCertificadoPatronEmisor = np.array([500,600,700,800,900,950,1000,1013,1050,1100 ])
175
176 VectorDatosCertificadoPatronSMN = np.array
    ([500.4,600.4,700.4,800.4,900.4,950.4,1000.4,1013.4,1050.4,1100.3])
177
178 # VectorCorreccionesCertificado = np.array([      [,] ])
179
180 VectorCorreccionesCertificado = DatosCertificadoPatronEmisor - VectorDatosCertificadoPatronSMN
181
182 VectorUexpCertificado = np.array([0.2,0.2,0.2,0.2,0.2,0.2,0.2,0.2,0.2,0.2])
183
184
185
186 '''Agregar la Resolucion del instrumento [0] IBC, [1] Patron'''
187
188 ResolucionInstIBC_Patron = np.array([0.01,0.01])
189
190 '''Agregar si es necesario los punto del segundo sensor en caso de que haya'''
191
192 # No hay
193
194 PuntosMagnitudSecundaria = np.array([])
195
196 '''Definir el factor de cobertura'''
197
198 K_fc = 2
199
200 '''Ruta y nombre del archivo'''
201
202 RutaExcel = "ILC_11_2022\Presi n PTB220"
203
204
205
206
207
208 '''Hasta ac setea el operador No tocar nada de abajo'''
209
210
211
```

```
212 VectorDatosInst = [ColDatosInst, ColDatosInst_PatronTemp]
213
214 VectorMagnitudes = [Magnitud, Magnitud_Patron] #pasar a VectorMagnitudes todos
215
216 VectorMarcas = [Marca, Marca_Patron]
217
218 VectorUnidades = [Unidad, Unidad_Patron]
219
220
221
222
223
224 # parseamos los datos
225
226 print("\nDatosAscIBC\n")
227
228 MatrizMedicionesAsc = measure_parser(DatosAsc, ColDatosInst, shifteo_Asc, PuntosSoloTemp,
    PuntosTemp_RH, ttFinalSoloTemp, ttFinalTemp_RH, cantidadDeMuestras)
229
230 print("\nDatosAscPATRON\n")
231
232 MatrizMedicionesAsc_Patron = measure_parser(DatosAsc, ColDatosInst_PatronTemp, shifteo_Asc,
    PuntosSoloTemp, PuntosTemp_RH, ttFinalSoloTemp, ttFinalTemp_RH, cantidadDeMuestras)
233
234
235
236 # '''Graficamos Ascendente'''
237
238 hfmtPT100_Asc, fechaCodificada_PT100_Asc = data_time_parser(DatosAsc, ColHora, ColFecha)
239
240 plotDataRaw(hfmtPT100_Asc, VectorMagnitudes, VectorUnidades, VectorMarcas,
    fechaCodificada_PT100_Asc, DatosAsc, VectorDatosInst, RutaImagen, titulo_As)
241
242
243
244
245
246 # parseamos los datos
247
248 print("\nDatosDesIBC\n")
249
250 MatrizMedicionesDes = measure_parser(DatosDes, ColDatosInst, shifteo_Des, PuntosTemp_RH,
    PuntosSoloTemp, ttFinalTemp_RH, ttFinalSoloTemp, cantidadDeMuestras)
251
252 print("\nDatosDesPATRON\n")
253
254 MatrizMedicionesDes_Patron = measure_parser(DatosDes, ColDatosInst_PatronTemp,
    shifteo_Patron_Des, PuntosTemp_RH, PuntosSoloTemp, ttFinalTemp_RH, ttFinalSoloTemp,
    cantidadDeMuestras)
255
256
257
258 # '''Graficamos Descendente'''
259
260 hfmtPT100_Des, fechaCodificada_PT100_Des = data_time_parser(DatosDes, ColHora, ColFecha)
261
```

```

262 plotDataRaw(hfmtPT100_Des, VectorMagnitudes, VectorUnidades, VectorMarcas,
             fechaCodificada_PT100_Des, DatosDes, VectorDatosInst, RutaImagen, titulo_des)
263
264
265
266
267
268 '''Procesamos los datos y calculamos el presupuesto de incertidumbre'''
269
270
271
272 VectorPromedios, VectorDesviosEstandar, VectorHisteresis = procesoDatos(MatrizMedicionesAsc,
             MatrizMedicionesAsc_Patron, MatrizMedicionesDes, MatrizMedicionesDes_Patron, PuntosMedidos)
273
274
275
276 ''' Graficamos la curva de histeresis'''
277
278
279
280 leyenda = [titulo_As, titulo_des]
281
282 VectorPromedios_X = VectorPromedios[[0,2 ],:]
283
284 VectorPromedios_Y = VectorPromedios[[1,3 ],:]
285
286 plot_resultados(VectorPromedios_X, VectorPromedios_Y, VectorMagnitudes, VectorMarcas,
             VectorUnidades, RutaImagen, leyenda, "Curva de histeresis", [None, None], [None, None])
287
288
289
290 ''' Generamos la tabla curva de histeresis'''
291
292
293
294 tituloCeldas = [Magnitud + " Promedio Patr n Asc",
                Magnitud + " Promedio Patr n Des",
                "Histeresis Patr n",
                Magnitud + " Promedio IBC Asc",
                Magnitud + " Promedio IBC Des",
                "Histeresis IBC"]
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306 # DatosExcel = np.concatenate((VectorPromedios[1], VectorPromedios[3], VectorHisteresis[1],
             VectorPromedios[0], VectorPromedios[2], VectorHisteresis[0]), axis=1)
307
308 DatosExcel = np.array([VectorPromedios[1], VectorPromedios[3], VectorHisteresis[1],
             VectorPromedios[0], VectorPromedios[2], VectorHisteresis[0]])
309
310 printInExcel(DatosExcel, RutaExcel, Unidad, Marca, tituloCeldas, "TablaHisteresis")
311
312

```

```
313
314
315
316 datosCalibracionAsc = ajusteCalibracionPatron(VectorPromedios [1,:],
        VectorDatosCertificadoPatronSMN, VectorCorreccionesCertificado, VectorUexpCertificado)
317
318 datosCalibracionDes = ajusteCalibracionPatron(VectorPromedios [3,:],
        VectorDatosCertificadoPatronSMN, VectorCorreccionesCertificado, VectorUexpCertificado)
319
320 datosEst_UniAsc = ajusteEstabilidadUniformidad(VectorPromedios [0,:], Magnitud,
        PuntosMagnitudSecundaria)
321
322 datosEst_UniDes = ajusteEstabilidadUniformidad(VectorPromedios [2,:], Magnitud,
        PuntosMagnitudSecundaria)
323
324 datosPresupuestoAsc = calculateUncertaintyBudget(datosCalibracionAsc, datosEst_UniAsc,
        ResolucionInstIBC_Patron, VectorPromedios [0:2,:], VectorDesviosEstandar [0:2,:],
        VectorHisteresis, cantidadDeMuestras, K_fc)
325
326 datosPresupuestoDes = calculateUncertaintyBudget(datosCalibracionDes, datosEst_UniDes,
        ResolucionInstIBC_Patron, VectorPromedios [2:4,:], VectorDesviosEstandar [2:4,:],
        VectorHisteresis, cantidadDeMuestras, K_fc)
327
328
329
330
331
332 plot_resultados(VectorPromedios [[0],:], VectorPromedios [[1],:], VectorMagnitudes, VectorMarcas,
        VectorUnidades, RutaImagen, leyenda, "Curva de incertidumbre", [datosPresupuestoAsc [4]], [None
        ])
333
334 tituloCeldas = [Magnitud + " Promedio Corregida Patr n Asc",
335
336                 Magnitud + " Promedio IBC Asc " + Marca,
337
338                 "Correcciones IBC Asc",
339
340                 "Incertidumbre Combinada IBC Asc",
341
342                 "Incertidumbre Expandida IBC Asc",
343
344                 "Grados De Libertad Combinada IBC Asc",
345
346                 Magnitud + " Promedio Corregida Patr n Des",
347
348                 Magnitud + " Promedio IBC Des " + Marca,
349
350                 "Correcciones IBC Des",
351
352                 "Incertidumbre Combinada IBC Des",
353
354                 "Incertidumbre Expandida IBC Des",
355
356                 "Grados De Libertad Combinada IBC Des"]
357
358
```

```
359
360
361
362 DatosExcel = datosPresupuestoAsc + datosPresupuestoDes
363
364 printInExcel (DatosExcel , RutaExcel , Unidad , Marca , tituloCeldas , "TablaResultados")
```

Código 5: Código de procesamiento de datos para el sensor de presión PTB220.

El desarrollo de las funciones *measureParser()*, *dateTimeParser()*, *plotDataRaw()*, *dataProcessing()*, *adjustment-CalibrationStandard()*, *adjustmentStabilityUniformity()*, *calculateUncertaintyBudget()* *plotResults()*, *printlnExcel()* se podrá solicitar a los autores de esta Nota ¹.

A.2. Cálculo del error normalizado E_n

Para la evaluación de los resultados, el protocolo de la ILCRAIV (2021) utiliza el error normalizado que esta dado por la ecuación 3

$$: E_n = \frac{x_{lab} - x_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \quad (3)$$

donde:

- x_{lab} es el valor medido, obtenido por el laboratorio participante.
- x_{ref} es el valor promedio calculado con los valores medidos por los laboratorios de referencia (ARSO, UL/FE-LMK y el INTI para temperatura y humedad; ARSO e INTI para presión) en cada punto.
- U_{lab} es la incertidumbre expandida (k=2) del valor medido por el laboratorio participante.
- U_{ref} es el valor promedio de las incertidumbres expandidas medidas por los laboratorios de referencia en cada punto.

El criterio establece:

Si $|E_n| \leq 1$ el resultado de la medición se evalúa como satisfactorio.

Si $|E_n| > 1$ el resultado de la medición se evalúa como insatisfactorio.

¹caranda@smn.gob.ar - ssanchez@smn.gob.ar

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rde-lia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martín Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD o los archivos Tex que sirven de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).