

## Participación en la Intercomparación entre Laboratorios versión 2022, de la Asociación Regional III, miembro de la Organización Mundial de Meteorología: Calibración de dos sensores de temperatura modelo PT100.

Nota Técnica SMN 2023 - 149.

**Aranda Cordero, Cristian Zozimo<sup>1</sup>; Sánchez Mérola, Sofía Manuela<sup>3</sup>; Sayago, Paola<sup>2</sup>; Corvalan, Hernán Gaston<sup>1</sup>; Infante Sandoval, Daniel Franklin<sup>1</sup>; Wolfram, Elián<sup>3</sup>; Arencibia, Claudio<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> DNITD - CLI - Instrumental

<sup>2</sup> DNITD - CLI - Laboratorio

<sup>3</sup> 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 Liubliana, 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 temperatura. 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 temperatura se recomienda utilizar sensores con un tiempo de respuesta más corto, acorde a las variaciones del ambiente. 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 magnitude temperature. 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:** Temperatura, 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 dos sensores de temperatura modelo PT100. Nota Técnica SMN 2023-149.

## 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 el 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).



En particular, este tipo de sensores son utilizados para frigoríficos, congeladores, generadores de hielo seco, sala climatizada, entre otros, debido a su gran rango de temperatura y gran exactitud de  $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 2.1. Punto $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ inicial

El punto de medición inicial (*start measure*) para temperatura, se realizó a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para ello se aplicó un procedimiento similar al realizado por el INTI Forastieri (2019). Se dispuso de los siguientes materiales:

- Agua desionizada próxima a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  con conductividad  $\sigma < 5\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}$ .
- Hielo en forma de escarcha hecho de agua destilada.
- Un Frasco de Dewar.
- Un Tubo Sifón.
- Guantes de plástico.

El agua desionizada de la que dispone el laboratorio del SMN tiene una conductividad de  $\sigma = 0,5\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}$ . El hielo se obtuvo a partir de congelar agua destilada en recipientes con forma de cubo y rectangular en una heladera doméstica. Luego, se procedió a picar dicho hielo e introducirlo en el recipiente adiabático utilizado como frasco de Dewar.

En la figura 3 se puede visualizar el montaje de los instrumentos de medición. El recipiente contenía un baño de hielo, es decir, una mezcla de hielo en forma de escarcha de agua destilada y una pequeña porción de agua destilada fría con una temperatura cercana a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se colocó el sensor de temperatura conectado a su vez al voltímetro, dentro del baño y se midió la temperatura del mismo. Para un mayor aislamiento del baño con el ambiente de laboratorio se utilizó una plancha de telgopor entre el recipiente y el sensor. Se procuró que el sensor no tenga contacto con el agua que se va derritiendo en la zona inferior del frasco.



(a) PT100 conectado al multímetro.



(b) Recipiente de perfil.

**Figura 3:** Instalación y posicionamiento del sensor PT100 en un recipiente con hielo seco en escarcha.

Las mediciones se realizaron manualmente tomando la lectura del *display* del voltímetro que se muestra en la figura 3a y se midieron las condiciones ambientales. Este procedimiento se repitió para el segundo sensor de temperatura. Ambas experiencias se realizaron el mismo día. Con las mediciones se realizó un promedio y se calculó la corrección a partir del certificado de calibración del sensor patrón del SMN. Este punto fue informado al coordinador del INTI, ya que esta medición fue utilizada como referencia para poder verificar el estado del instrumento después de haber sido transportado de un laboratorio participante a otro. Con el visto bueno del coordinador de la ILC, se dio comienzo a las mediciones posteriores.

## 2.2. Instrumentos y accesorios

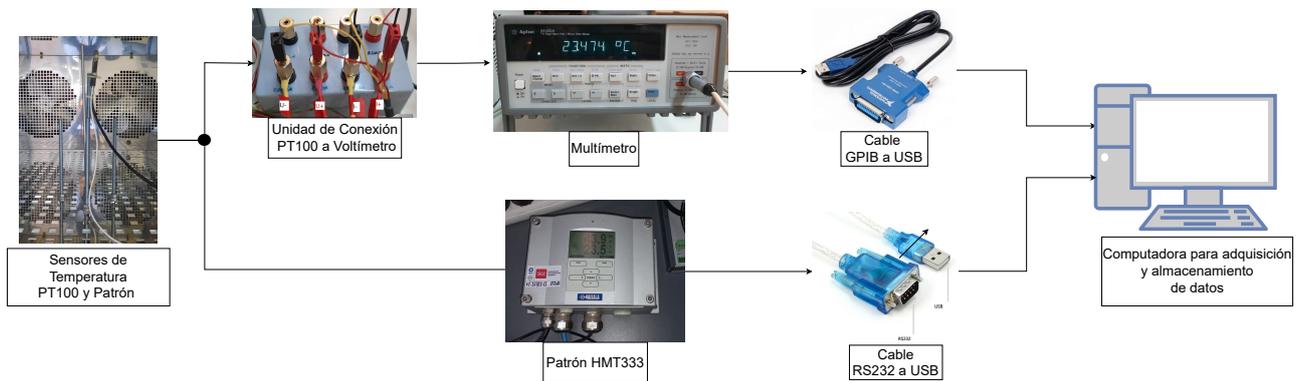
Para esta primera parte de la experiencia se armó el banco de medición automatizado, con los siguientes instrumentos:

- Indicador de temperatura y humedad ambiente, MI70, con termohigrómetro HMP155 (SMN).
- Un Multímetro Agilent Hewlett Packard 34420A (ILC).
- Dos termómetros idénticos Pt100 (ILC).
- Una unidad de conexión tipo banana (ILC).
- Cable de conexión (34420A – Unidad de conexión) (ILC).
- Un termohigrómetro patrón Vaisala, HTM333 (SMN).
- Una cámara termométrica Aralab, Fito Clima 1000 EPC 75 (SMN).
- Un conversor GPIB a USB (INTI).
- Un conversor RS232 a USB (SMN).
- Una computadora con python, excel e internet (SMN).

En las siguientes subsecciones se describe como se armó la electrónica de los instrumentos, además de como se programó y configuró el banco de medición.

## 2.3. Disposición de los instrumentos

En el esquema de la figura 4 se muestra como se dispusieron los instrumentos.



**Figura 4:** Esquema de conexión para el sensor PT100.

Siguiendo el esquema de la figura 4 primero se instaló el sensor de temperatura PT100 dentro de la cámara *Aralab*, se lo ubicó cerca de la sonda patrón HMT333, a la misma altura. Luego, siguiendo la rama superior del esquema, utilizando la unidad de conexión, se conectaron los cuatro hilos del PT100 con el multímetro 34420A, a saber,  $I+$  e  $I-$ , para la fuente de corriente fija que excita al resistor y  $U+$  y  $U-$  que miden la diferencia de potencial que cambia debido al cambio en la resistencia ligado al cambio de temperatura. El multímetro se encarga de transformar la señal analógica en digital y luego con el cable GPIB a USB se envían los datos a la PC, la cual tiene un software diseñado por los autores de esta nota, para interactuar con el multímetro digital, solicitar las mediciones y almacenarlas en un archivo de tipo CSV.

Siguiendo la rama inferior de la figura 4, la sonda patrón de temperatura HMT333 está conectada por soldadura al adquirente Vaisala, el adquirente recibe la señal analógica y se encarga de digitalizarla, luego mediante un cable RS232 a USB se transfieren los datos por puerto serie a la misma PC, la cual, a su vez interactúa con el mismo software del PT100.

## 2.4. Configuración de los instrumentos

### 2.4.1. Cámara Climática Aralab

Sobre la base del instructivo de la ILC RAIV (2021), se realizó la configuración de la cámara *Aralab* para que mida en los puntos de la tabla 1. Se agregó humedad controlada al 50 % para los puntos mayores a 10 °C. Para los puntos menores la humedad no influye en el cálculo de incertidumbre, así que se la dejó como un parámetro libre, a esta conclusión se llegó debido a resultados de calibraciones anteriores.

-30	-20	-10	0	10	20	30	40	°C
-----	-----	-----	---	----	----	----	----	----

**Tabla 1:** Puntos de temperatura medidos en la cámara termométrica.

Las mediciones realizadas en la cámara constaron de 2 (dos) ciclos de medición, una ascendente y otra descendente. Dichos ciclos se realizaron en días diferentes con programas similares y siempre especificando las condiciones ambientales correspondientes. En ambos programas, para los puntos desde  $-30$  °C hasta 10 °C donde no se especifica humedad, los tiempos de ascenso, estabilización y toma de mediciones son de 10 (diez) minutos, 2 (dos) horas y 20 (veinte) minutos, respectivamente. En cambio, para los puntos desde 20 °C hasta 40 °C donde se espe-

cificó un nivel de humedad relativa del 50 %, los tiempos de ascenso, estabilización y toma de mediciones son de 15 (quince) minutos, 5 (cinco) horas y 20 (veinte) minutos respectivamente.

El programa correspondiente al ciclo ascendente, se inició en el Segmento 0 (cero) con una temperatura de  $-30^{\circ}\text{C}$  sin humedad, en los segmentos siguientes se le aumentó la temperatura sin especificar un valor de humedad hasta las temperaturas mayores a  $10^{\circ}\text{C}$  donde se le agregó el valor de humedad controlada de 50 %. El segmento final corresponde al Segmento 24 (veinticuatro) con  $40^{\circ}\text{C}$  de temperatura y 50 % de humedad controlada.

El programa correspondiente al ciclo descendente, se inició en el Segmento 0 (cero) con una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  y 50 % de humedad controlada. En los segmentos posteriores se disminuyó la temperatura especificando el mismo nivel de humedad hasta el segmento correspondiente a la temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$ . donde se dejó libre el parámetro de humedad. El segmento final corresponde al Segmento 24 (veinticuatro) con  $-30^{\circ}\text{C}$  de temperatura. La duración de cada uno de los programas (ascendente y descendente) tiene una duración de 1 (uno) día, 5 (cinco) horas y 15 (quince) minutos.

### Punto Cero Final

Finalmente, se configuró el programa para medir el punto  $0^{\circ}\text{C}$  y cerrar el ciclo de mediciones para la variable de temperatura. El mismo consiste en 4 (cuatro) segmentos de temperatura fija de  $0^{\circ}\text{C}$  sin especificaciones de humedad relativa (no se habilitó esta opción). A continuación, se explicarán los segmentos:

- Segmento 0: segmento inicial a la temperatura fijada sin especificar humedad.
- Segmento 1: segmento de descenso con una duración de 10 (diez) minutos.
- Segmento 2: segmento de estabilización con una duración de 2 (dos) horas.
- Segmento 3: segmento de medición con una duración de 20 (veinte) minutos.

La duración total del programa es de 2 (dos) horas y 30 (treinta) minutos.

### 2.4.2. Adquisidor patrón HMT333

El laboratorio del SMN cuenta con un termohigrómetro modelo HMT333 de la empresa Vaisala, que se muestra en la figura 5. El mismo tiene soldado una sonda Vaisala HUMICAP<sup>®</sup> que mide temperatura y humedad. Las magnitudes se muestrean de forma analógica por medio de canales de voltaje simple, para luego ser convertidos a un valor digital a través del ADC de 12 bits que posee el HMT333.



**Figura 5:** Sensor patrón de referencia de temperatura y humedad.

El sensor entrega los datos en formato digital por medio del protocolo de comunicación RS232, para lo cual se lo configuró con los siguientes parámetros:

Puerto Serie	Velocidad [Baud Rate]	9600
	Bit de Datos	8
	Bits de Parada	1
	Paridad	none
	Control de Flujo	none
Datos	Modo de Comunicación	Run
	Intervalo Run [segundos]	10
	Dirección de Dispositivo	0
	Formato de los Datos	Estándar Vaisala

**Tabla 2:** Parámetros configurados en el termohigrómetro patrón.

### 2.4.3. Multímetro Agilent 34420A

Se configuró el multímetro en modo temperatura oprimiendo las teclas *SHIFT* y luego *TEMP*, el mismo muestra los datos en su *display* de 6  $\frac{1}{2}$  dígitos. En nuestro caso ya que se precisó medir durante largos intervalos de tiempo con una tasa de muestreo de 1 (uno) minuto, optamos por controlar el instrumento por comandos GPIB.



**Figura 6:** Multímetro Keysight/Agilent/Hewlett Packard 34420A.

Debido a que el voltímetro cuenta con un solo puerto para sensores PT100, se conectaron y midieron los sensores de a uno por vez.

## 2.5. Muestreo, almacenamiento y visualización datos.

Si bien el instrumento trae un programa para leer los datos por GPIB, *Keysight Connection Expert*, este solo fue utilizado para definir los comandos necesarios para interactuar con el dispositivo. Luego se desarrolló un *script* en *Python* para consultar, adquirir, procesar y almacenar los datos de temperatura tanto del patrón sonda HMT333, así como del sensor PT100. Como se ve en el Código 1 se utilizó el paquete *PyVISA* que permite controlar todo tipo de instrumentos de medición de laboratorio, independientemente de la interfaz. También se utilizó el paquete *serial* para recibir los datos del patrón y el paquete *datetime* para agregar la hora y fecha a las mediciones.

```
1 '''
2 Autor: Cristian Aranda
3 Direccion: CLI - DNIT - SMN
4 Fecha: 26/10/2022
5 Titulo: Script para tomar datos del Agilent (ILC - Luvianka) vs HMP60 (Patron SMN)
6 Nota: Se utilizo el cable GPIB-USB del INTI. Se instalaron los Drivers de National instrument y
       el software keysight connection expert para validar los comandos SCPI. Si bien el
       instrumento Agilent tiene ajuste manual, para conectarlo a la PC se configuraron desde los
       botones los siguiente:
7 GPIB ADDR = 20
8 LENGUAJE = SCPI
9 INTERFACE = GPIB / 488
10 '''
11
12 from pickle import TRUE
13 import pyvisa
14 import serial, re, time
15 from datetime import datetime
16 cant_mediciones = 0
17 print(cant_mediciones)
18 # Configuro el Agilent #34420A
19 rm = pyvisa.ResourceManager()
20 # rm.list_resources()
21 # ('ASRL1::INSTR', 'ASRL2::INSTR', 'GPIB0::12::INSTR')
22 inst = rm.open_resource('GPIB0::20::INSTR')
23 print(inst.query("*IDN?"))
24 # print(inst.query("SYST:ERR?")) # Si hay error se consulta con este comando
25 inst.write("UNIT:TEMPerature C")
26
27 #Configuracion del puerto serie para el PTB330 Patron
28 puerto_comHMP360 = 'COM11' #Se debe colocar el nombre del puerto
29 baudrate_comHMP360 = 9600 #Se debe colocar el baudrate correspondiente
30 DatoHMP360_patron = serial.Serial(puerto_comHMP360,baudrate_comHMP360)
31 while TRUE:
32     time.sleep(60)
33     #Leemos el dato del PTB220
34     line_HMP60 = DatoHMP360_patron.readline()
35     # DatoBarometroPTB220_a_calibrar.flushInput() #Leemos e ignoramos el echo del comando SEND
36     line_HMP60 = str(line_HMP60)
37     DataPatron = re.findall("\-?\d{1,3}[.]+\d{1,2}",line_HMP60)
38     MeasureInstTempPatron= float(DataPatron[1])
39     MeasureInstRHPatron= float(DataPatron[0])
40     #Leemos PT100
41     TemperaturePT100 = inst.query("MEASure:TEMPerature?")
42     MeasureInstTemperature = round(float(TemperaturePT100),2)
43     print(float(MeasureInstTemperature))
44     datos = open("ILC_mediciones_PT100_S1_Ascendente.csv","a")
45     if cant_mediciones == 0: #Se generan los encabezados
46         datos.write("medicion num,Fecha,Hora,Temp IBC,Temp Patron,RH Patron"+"\\n")
47         #print("medicion num Fecha Hora Calibrar[hPa] Patron[hPa]")
48         print("Adquisición de datos correcta:")
49         print("medicion num Fecha Hora Temp IBC[ C ] Temp Patron[ C ] RH Patron[%] ")
50         cant_mediciones = cant_mediciones + 1
51     #Adquirimos la fecha y hora del sistema
52     date = datetime.now()
53     fecha = date.date()
```

```

54  hora = date.time()
55  datos.write(str(cant_mediciones) + "," + str(fecha) + "," + str(hora) + "," + str(
MeasureInstTemperature) + "," + str(MeasureInsTempPatron) + "," + str(MeasureInsRHPatron)
+ "\n")
56  datos.close()
57  print(str(cant_mediciones) + " " + str(fecha) + " " + str(hora) + " " + str(
MeasureInstTemperature) + " " + str(MeasureInsTempPatron) + " " + str(MeasureInsRHPatron)
))
58  cant_mediciones = cant_mediciones + 1
59
60 # DatoHMP360_patron.flushInput()

```

**Código 1:** Script para tomar las mediciones de temperatura del Agilent-PT100 y del HMT333.

En la primera parte del Código 1 se configura la comunicación entre el Agilent abriendo un recurso con la dirección GPIB del instrumento, luego se establece la unidad de la variable a medir en °C. Para el HMT333 se abre un puerto serie con la misma configuración detallada en la sección 2.4.2. Lo siguiente es realizar un bucle infinito mediante un *While: TRUE*, donde se realiza una pasada cada 60 (sesenta) segundos y se toma una medición del string que envía el HMT333, se procesa con expresiones regulares para quedarnos con la información de temperatura y se lo convierte a un valor de punto flotante. Para el PT100 se realiza un *query* al instrumento, tal que nos devuelve la medición de ese instante, en mismo se convierte a punto flotante, ambas mediciones se redondean a dos decimales. Finalmente, se obtiene la hora y fecha de ese instante, para luego con toda esta información armar una cadena de caracteres, estas cadenas se van adjuntando en el archivo creado por el programa como se muestra el Código 2

```

1  medicion num, Fecha, Hora, Temp IBC, Temp Patron, RH Patron
2  1, 2022-10-29, 14:47:24.831305, 24.91, 24.9, 83.47
3  2, 2022-10-29, 14:48:25.285340, 26.23, 24.58, 81.64
4  3, 2022-10-29, 14:49:26.934494, 9.9e+37, 24.05, 80.15
5  4, 2022-10-29, 14:50:27.446518, 9.9e+37, 23.74, 78.38
6  5, 2022-10-29, 14:51:27.951820, 9.9e+37, 23.57, 76.05
7  6, 2022-10-29, 14:52:29.164052, 24.43, 23.47, 73.57
8  7, 2022-10-29, 14:53:29.616470, 25.42, 23.39, 70.96
9  8, 2022-10-29, 14:54:30.071844, 25.42, 23.36, 68.58
10 9, 2022-10-29, 14:55:30.516490, 25.4, 23.39, 66.63
11 10, 2022-10-29, 14:56:30.971935, 25.27, 23.43, 64.91
12 11, 2022-10-29, 14:57:31.426556, 25.1, 23.45, 63.11
13 12, 2022-10-29, 14:58:31.869020, 24.91, 23.48, 61.57
14 13, 2022-10-29, 14:59:32.326746, 23.39, 23.48, 60.26
15 14, 2022-10-29, 15:00:32.770622, 21.09, 23.12, 55.58
16 15, 2022-10-29, 15:01:33.213075, 19.74, 21.97, 49.66
17 16, 2022-10-29, 15:02:33.658869, 18.66, 21.02, 50.25
18 17, 2022-10-29, 15:03:34.103648, 15.73, 20.18, 51.31
19 18, 2022-10-29, 15:04:34.558053, 12.11, 18.45, 45.25
20 19, 2022-10-29, 15:05:35.010214, 7.07, 16.1, 40.3
21 20, 2022-10-29, 15:06:35.455871, 1.64, 12.83, 34.56

```

**Código 2:** Archivo de tipo .csv que genera el Código 1.

El *script* desarrollado se ejecuta dos veces, una vez por cada sensor PT100, el mismo se corre de forma sincrónica con los tiempos del programa de la cámara *Aralab*, detallado en la sección 2.4.1. Dicha sincronización es importante, ya que luego permitirá la identificación de los puntos de medición solicitados por la ILC. El análisis y proceso de los datos a partir de este archivo se detalla en la sección 5.

## 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 mensurando. 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:

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

**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 temperatura. 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 temperatura

A continuación, en la tabla 3 se describirán las fuentes de incertidumbre asociadas a la variable temperatura. Las mismas están clasificadas según correspondan a incertidumbres asociadas al patrón, a la cámara climática 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.

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	2
	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	$\sqrt{12}$
Cámara Climática	Homogeneidad	Certificado de ensayo de la caracterización de la cámara climática.	B	N	$\sqrt{12}$
	Ajuste de Homogeneidad	Desvío estándar del ajuste lineal con los datos discretos del certificado de ensayo de la caracterización de la cámara climática.	A	N	2
	Estabilidad	Certificado de ensayo de la caracterización de la cámara climática.	B	N	$\sqrt{12}$
	Ajuste de Estabilidad	Desvío estándar del ajuste lineal con los datos discretos del certificado de ensayo de la caracterización de la cámara climática.	A	N	$\sqrt{12}$
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 3:** Fuentes de Incertidumbre para la variable Temperatura.

## 4. PROCESAMIENTO DE LOS 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 temperatura, 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 qué 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.

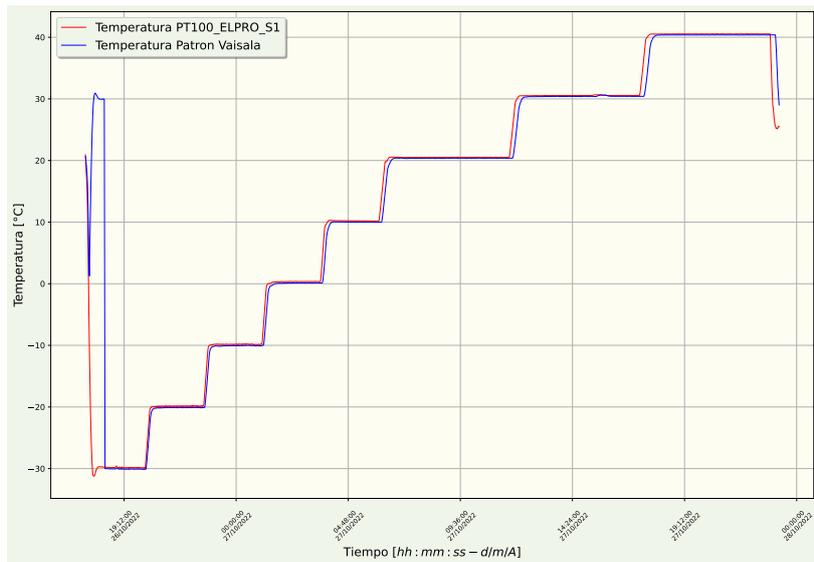
En esta sección no se mostrará el código utilizado. No obstante, el mismo puede visualizarse en la sección A.1 y las funciones implementadas pueden ser solicitadas a los autores de esta nota.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se presentan los resultados de la calibración de los sensores de temperatura.

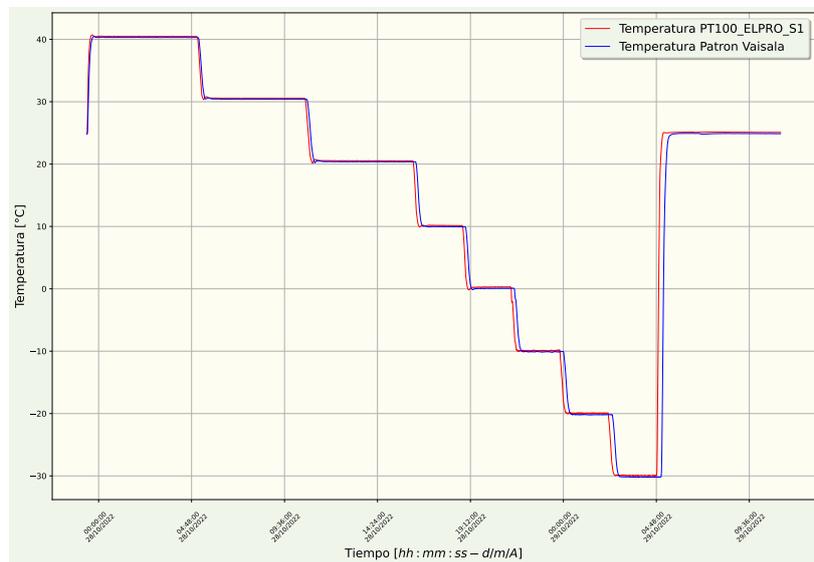
### 5.0.1. Sensor 1 PT100

El gráfico mostrado a continuación, figura 7, corresponde a las mediciones de temperatura con el sensor PT100 en el ciclo ascendente. Pueden observarse los tiempos especificados en la sección 2.4.1, de ascenso, estabilización y toma de mediciones. Las zonas del gráfico que corresponden a las "mesetas" incluyen el tiempo de estabilización y los últimos 20 (veinte) minutos de toma de mediciones útiles para el proceso de calibración. Sin embargo, a medida que la temperatura aumenta, la diferencia entre las respuestas correspondientes al patrón y al sensor bajo calibración aumenta también. La primera observación luego de correr el *script*, detallado anteriormente, es que tomando esas últimas mediciones alcanza valores que ya no se encuentran en la meseta, sino en la pendiente de ascenso, por lo que hubo que realizar un desplazamiento de forma iterativa hacia muestras correspondientes a tiempos anteriores para obtener mediciones representativas del mensurando.



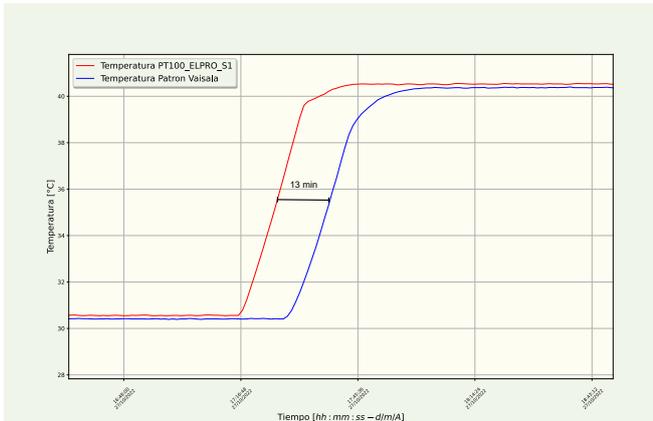
**Figura 7:** Mediciones sin procesar para el primer sensor PT100 de temperatura en el ciclo ascendente.

El gráfico de la figura 8, corresponde a las mediciones de temperatura del primer sensor PT100 en el ciclo descendente. De la misma forma se puede observar un corrimiento incremental entre el sensor patrón HMT333 y el primer sensor PT100. Para obtener las muestras representativas del mensurando se aplicó el mismo procedimiento que para la curva ascendente.

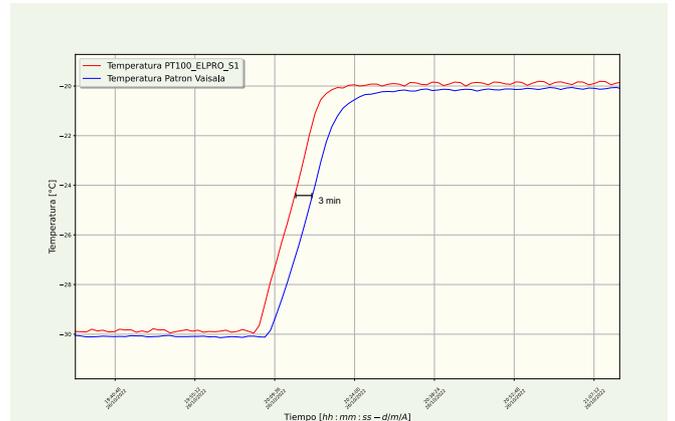


**Figura 8:** Mediciones sin procesar para el primer sensor PT100 de temperatura en el ciclo descendente.

En la figura 9 se midieron los casos extremos del desfase en las zonas de transición para el ciclo ascendente, dicha separación desde el punto de vista electrónico puede estar asociada a los diferentes tiempos de respuesta de cada sensor y al reloj interno de cada datalogger con el que se tomaron mediciones. En la figura 9a se observa que la máxima separación es de 13 (trece) minutos, pasando de 30 °C a 40 °C y la mínima separación de 3 (tres) minutos pasando de -30 °C a -20 °C. No obstante, se ajustó manualmente este desplazamiento temporal mediante software para trabajar con la parte plana y estable de los datos.



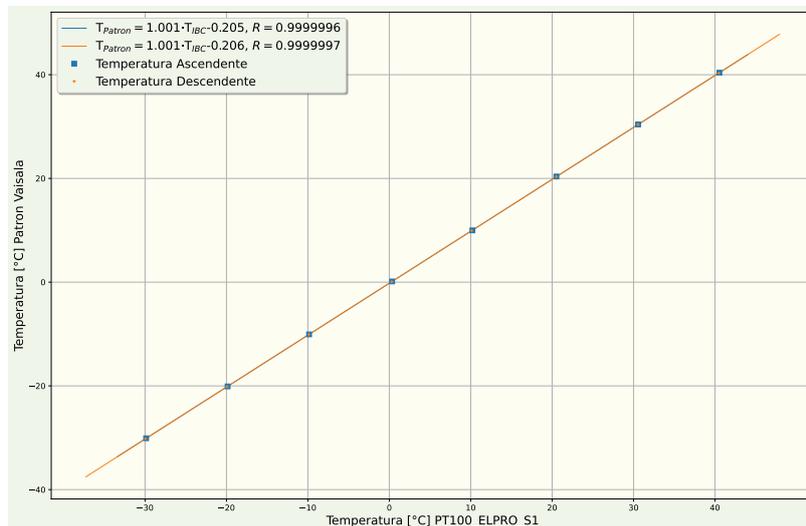
(a) Máxima separación entre los valores medidos con el patrón y el IBC.



(b) Mínima separación entre los valores medidos con el patrón y el IBC.

**Figura 9:** Desfasaje entre las mediciones del patrón y el IBC en el ciclo ascendente.

En el gráfico de la figura 10 se muestra la curva de histéresis. Dicha curva se construye a partir de los ciclos ascendente y descendente, cada punto representado se obtuvo a partir del promedio de 20 (veinte) muestras. Luego se realizó un ajuste lineal para cada ciclo y se puede observar la fuerte linealidad que hay entre el patrón y el IBC, esto nos permite decir que el IBC tiene una baja histéresis, es decir, que entre el ciclo descendente y el ascendente las diferencias de temperatura son despreciables. Por lo tanto, podemos aseverar que el funcionamiento del instrumento es correcto dentro de este rango de mediciones. Sobre la base de esta conclusión se procedió a calcular el presupuesto de incertidumbre.



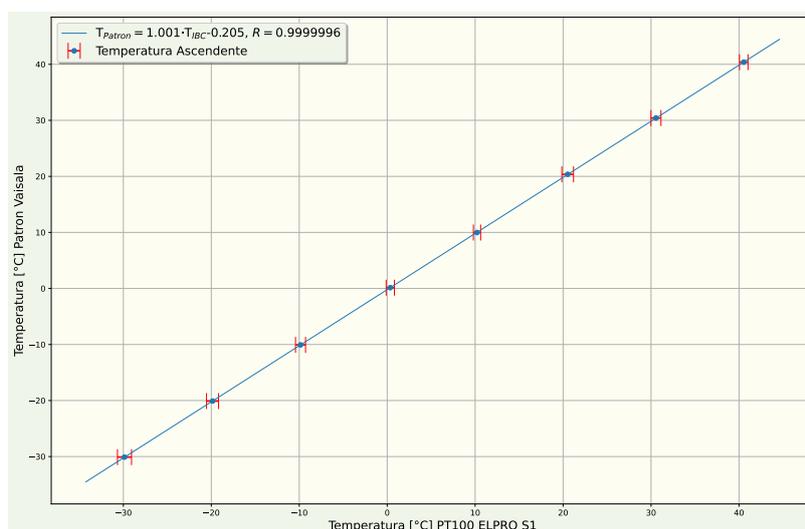
**Figura 10:** Curva de histéresis para el primer sensor PT100 de temperatura.

En la tabla 4 se muestran las mediciones promediadas del patrón y el IBC junto a sus respectivos valores de histéresis. Para el patrón se obtuvo una mayor histéresis de  $0,10^{\circ}\text{C}$  en una temperatura de  $-30^{\circ}\text{C}$  y para el IBC se obtuvo la mayor histéresis de  $0,08^{\circ}\text{C}$  en las temperaturas de  $-30^{\circ}\text{C}$  y  $10^{\circ}\text{C}$ .

Temperatura Promedio Patrón Asc[ °C]	Temperatura Promedio Patrón Des[ °C]	Histeresis Patrón[ °C]	Temperatura Promedio IBC Asc[ °C]	Temperatura Promedio IBC Des[ °C]	Histeresis IBC[ °C]
-30,10	-30,20	0,10	-29,87	-29,95	0,08
-20,1	-20,18	0,08	-19,86	-19,93	0,07
-10,07	-10,10	0,03	-9,85	-9,87	0,02
0,14	0,09	0,05	0,35	0,3	0,05
9,98	9,94	0,04	10,21	10,13	0,08
20,37	20,37	0,00	20,52	20,52	0,01
30,41	30,40	0,01	30,56	30,55	0,01
40,38	40,30	0,09	40,54	40,48	0,06

**Tabla 4:** Tabla de histéresis para el primer sensor PT100 de temperatura.

En la figura 11 se observa la curva de calibración con los datos del ciclo ascendente, dicha curva tiene asociado en cada punto su incertidumbre expandida.



**Figura 11:** Curva de calibración para el primer sensor PT100 de temperatura.

El gráfico anterior junto con la tabla 5 forman parte del resultado del certificado de calibración que emite el laboratorio del SMN hacia sus clientes. Sin embargo, como resultado de la intercalibración, solo se presentó una adaptación de esta tabla. Se puede observar que las correcciones están dentro del intervalo determinado por la incertidumbre, lo cual nos permite aplicar las correcciones al IBC. De todas formas, estos resultados serán evaluados por el coordinador del laboratorio de referencia en base al criterio de desempeño basado en el error normalizado  $E_n$  explicado en el apéndice A.2.

Temperatura Promedio Corregida Patrón Asc [°C]	Temperatura Promedio IBC Asc [°C]	Correcciones IBC Asc [°C]	Incertidumbre Combinada IBC Asc [°C]	Incertidumbre Expandida IBC Asc [°C]
-30,28	-29,87	-0,41	0,4	0,8
-20,22	-19,86	-0,36	0,34	0,68
-10,12	-9,85	-0,27	0,29	0,57
0,15	0,35	-0,2	0,23	0,47
10,06	10,21	-0,15	0,21	0,41
20,52	20,52	0	0,33	0,66
30,62	30,56	0,06	0,28	0,57
40,66	40,54	0,12	0,24	0,48

Tabla 5: Tabla de calibración para el sensor 1 de temperatura.

### 5.0.2. Sensor 2 PT100

En la figura 12 y la 13 se pueden observar las mediciones de temperatura correspondiente al segundo sensor PT100 en el ciclo ascendente y descendente, respectivamente. El tiempo de ascenso, estabilización y medición están especificados en la sección 2.4.1. Se utilizó el mismo tratamiento para la obtención y análisis de datos, que para el sensor 1 PT100.

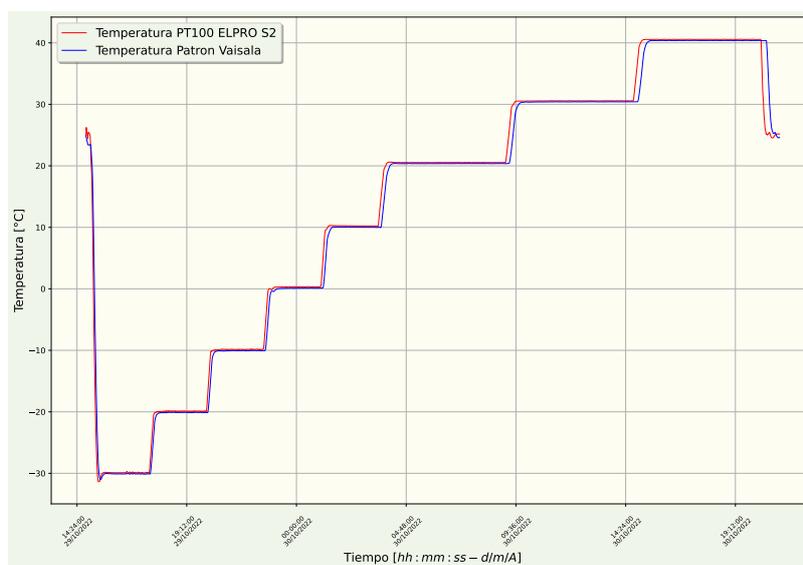
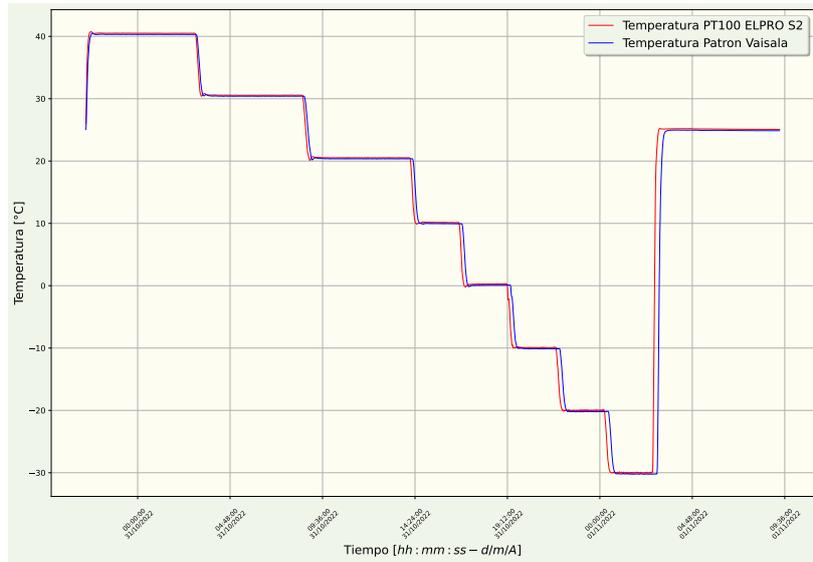


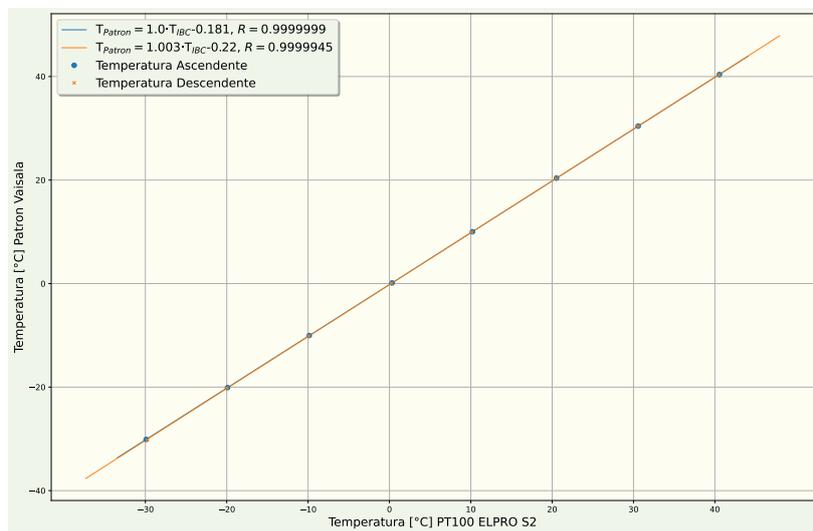
Figura 12: Mediciones sin procesar para el segundo sensor PT100 de temperatura en el ciclo ascendente.

Se puede observar la separación progresiva entre las curvas del patrón HMT333 y el IBC PT100, tanto en el ciclo ascendente y como en el descendente. Para ambos sensores PT100 resulta que las mediciones del patrón (curva azul del gráfico) se atrasan respecto del IBC, lo cual nos permite aseverar que el tiempo de respuesta del sensor patrón es menor que de los PT100. Concluyendo que para una mejora en el proceso de calibración, se podría considerar cambiar el sensor patrón y utilizar, por ejemplo, un sensor PT100.



**Figura 13:** Mediciones sin procesar para el segundo sensor PT100 de temperatura en el ciclo descendente.

En la figura 14, se muestra la curva de histéresis del sensor 2, la cual se construye con el promedio de 20 (veinte) muestras. Puede observarse una fuerte linealidad y un factor de correlación cercano a 1 (uno), en los promedios tanto del patrón como del IBC en ambos ciclos (ascendente y descendente). Por lo tanto, podemos garantizar el correcto funcionamiento del sensor PT100, en el rango de mediciones considerado. A partir de este resultado se procedió a calcular el presupuesto de incertidumbre.



**Figura 14:** Curva de histéresis para el segundo sensor PT100 de temperatura.

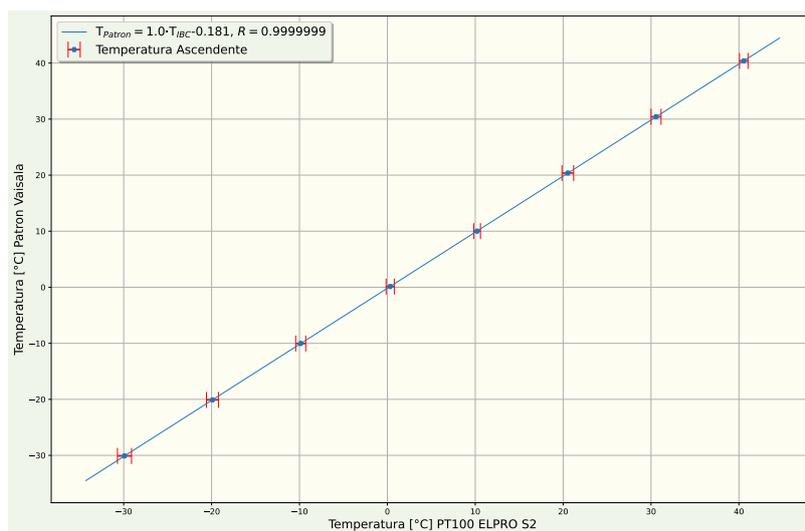
En la tabla 6 se muestran los valores promediados del patrón y del IBC con sus respectivos valores de histéresis. Para el sensor patrón se obtuvo un máximo valor de histéresis de 0,12 °C en el punto de medición de -30 °C, y para el IBC, el mayor valor de histéresis en módulo fue de -0,15 °C en la temperatura de -30 °C.

Estos resultados muestran que las curvas tienen una fuerte linealidad y una baja histéresis menor al 1%, que se evidencia con los errores relativos entre las pendientes y las ordenadas al origen de ambas curvas, siendo de  $5 \times 10^{-4} \%$  y de 0,3 % respectivamente.

Temperatura Promedio Patrón Asc[°C]	Temperatura Promedio Patrón Des[°C]	Histeresis Patrón[°C]	Temperatura Promedio IBC Asc[°C]	Temperatura Promedio IBC Des[°C]	Histéresis IBC[°C]
-30,1	-30,22	0,12	-29,91	-29,76	-0,15
-20,1	-20,19	0,09	-19,9	-19,99	0,09
-10,03	-10,12	0,09	-9,86	-9,93	0,07
0,13	0,08	0,04	0,32	0,24	0,08
10,01	9,95	0,07	10,21	10,12	0,09
20,38	20,36	0,01	20,53	20,48	0,05
30,41	30,41	0,01	30,57	30,57	0,01
40,38	40,31	0,08	40,55	40,5	0,05

**Tabla 6:** Tabla de histéresis para el segundo sensor PT100 de temperatura.

En la figura 15 y la tabla 7 se muestran los resultados de la calibración, donde se puede apreciar que las correcciones están dentro del intervalo de incertidumbre expandida. Estos resultados también serán evaluados en base al criterio de apéndice A.2



**Figura 15:** Curva de calibración para el segundo sensor PT100 de temperatura.

Temperatura Promedio Corregida Patrón Asc[°C]	Temperatura Promedio IBC Asc[°C]	Correcciones IBC Asc[°C]	Incertidumbre Combinada IBC Asc[°C]	Incertidumbre Expandida IBC Asc[°C]
-30,28	-29,91	-0,37	0,4	0,8
-20,21	-19,9	-0,31	0,34	0,68
-10,09	-9,86	-0,23	0,29	0,57
0,14	0,32	-0,18	0,23	0,47
10,09	10,21	-0,11	0,19	0,39
20,52	20,53	-0,01	0,33	0,66
30,63	30,57	0,05	0,28	0,57
40,66	40,55	0,11	0,24	0,48

**Tabla 7:** Tabla de calibración para el segundo sensor PT100 de temperatura.

## 6. Conclusión

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 de los termómetros en la cámara climática, se obtuvieron incertidumbres expandidas en el rango de  $0,41\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , como se ve en la tabla 5. Los valores obtenidos son coherentes para el proceso de calibración realizado con una cámara de temperatura. Por ejemplo, para una temperatura generada por la cámara climática de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , si para el sensor bajo calibración, consideramos una tolerancia de  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , habiendo obtenido una incertidumbre expandida en valor absoluto de  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una corrección en valor absoluto,  $0,41\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vemos que la suma de la corrección más la incertidumbre es menor a la tolerancia propuesta. Esta tolerancia resulta ser aceptable para aplicaciones meteorológicas. No obstante, concluimos que se podría mejorar nuestro proceso de calibración para reducir la incertidumbre a través del uso de sensores patrón con mayor sensibilidad, menor tiempo de respuesta y mejor resolución. Además de mejorar el set up del banco de medición y el método de calibración, como así también caracterizar con mayor detalle el mensurando temperatura.

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 definido en la sección A.2, 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

Forastieri, 2019: *Realización del baño del "punto de hielo "*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, copia controlada N°2.

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, Intruccion 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 Meterelógica Mundial.

## A. Apéndice

### A.1. Código para el procesamiento de los datos

El algoritmo que procesa los datos puede visualizarse en el código 3. En este código se implementan los pasos detallados en la sección 4 .

```
1 '''
2 Autor: Cristian Aranda
3 Direccion: CLI - DNIT - SMN
4 Fecha: 19/11/2022
5 Titulo: Script para calcular el presupuesto de incertidumbre de mediciones.
6 Nota: EL operador que interactue con este script debe completar cierta informacion, cualquier
      consulta
7 enviar un email a caranda@smn.gob.ar
8 '''
9
10 import numpy as np
11 import scipy as sp
12 from scipy.io import savemat
13 import matplotlib.pyplot as plt
14 import matplotlib.dates
15 from datetime import datetime
16
17 import serial, re, time
18 from funciones import *
19
20
21
22 # Carfig:datos_crudos_S1_ascendente_TosAsc = np.loadtxt("ILC_11_2022\Temperatura PT100\
      S1_09316\ILC_mediciones_PT100_S1_Ascendente.csv",
23               dtype='str',
24               delimiter = ',',
25               skiprows=7)
26
27 DatosDes = np.loadtxt("ILC_11_2022\Temperatura PT100\S1_09316\
      ILC_mediciones_PT100_S1_Descendente.csv",
28               dtype='str',
29               delimiter = ',',
30               skiprows=5)
31
32 # Datos de los sensores
33 '''Patron'''
34 Magnitud_Patron = "Temperatura"
35 Unidad_Patron = " C "
36 Marca_Patron = "Patron Vaisala"
37
38 ''' IBC's '''
39 Magnitud = "Temperatura"
40 Unidad = " C "
41 Marca = "PT100 ELPRO S1"
42
43 '''Elegimos el numero de columnas donde estan nuestros datos'''
44 # sensor IBC Temp
```

```

45 ColDatosInst = 3
46 # sensor 1 Patron Temp
47 ColDatosInst_PatronTemp = 4
48 # sensor 2 Patron humedad
49 ColDatosInst_PatronRH = 5
50 # Fecha
51 ColFecha = 1
52 # Hora
53 ColHora = 2
54
55 '''Elegimos ruta y titulos para nuestros graficos'''
56
57 RutaImagen = "ILC_11_2022\Temperatura PT100\imagenes"
58 titulo_As = "Ascendente"
59 titulo_des = "Descendente"
60
61 '''Parseamos las mediciones, modificar estos tiempo en funcion de la camara Aralab'''
62 # tiempos de la camara para PT100
63
64 # tiempos de la camara para puntos SOLO TEMPERATURA
65 ts1 = 10 # tiempo de subida o bajada
66 te1 = 120 # tiempo de estabilizacion
67 tm1 = 20 # tiempo de medicion
68 ttFinalSoloTemp = ts1 + te1 +tm1 # 150
69 # tiempos de la camara para puntos con TEMPERATURA Y HUMEDAD
70 ts2 = 15 # tiempo de subida o bajada
71 te2 = 300 # tiempo de estabilizacion
72 tm2 = 20 # tiempo de medicion
73 ttFinalTemp_RH = ts2 + te2 +tm2 # 335
74
75 '''Cambiar la cantidad de puntos de temperatura y humedad'''
76 PuntosSoloTemp = 5
77 PuntosTemp_RH = 3
78 cantidadDeMuestras = 20
79 PuntosMedidos = PuntosSoloTemp + PuntosTemp_RH
80
81 '''Este vector me dice cuantas mediciones debo shiftear para obtener datos cohetentes en cada
punto '''
82 shifteo_Asc = [0, 0, 0, 1, 0, 4 ,7, 9]
83 shifteo_Patron_Asc = [0, 0, 0, 0, 0, 0 ,0, 0]
84
85 '''Este vector me dice cuantas mediciones debo shiftear para obtener datos cohetentes en cada
punto '''
86 shifteo_Des = [0, 0, 1, 0, 1, 0 ,3, 3]
87 shifteo_Patron_Des = [0, 0, 0, 0, 0, 0 ,0, 0]
88
89 ''' ingresamos los datos de calibracion del sensor patron'''
90 DatosCertificadoPatronEmisor = np.array([ -19.72, -9.84,0.02,10.09,19.94,30.01,39.99,49.91])
91 VectorDatosCertificadoPatronSMN = np.array([-19.5, -9.8,0.0,9.9,19.7,29.8,39.8,49.6 ])
92 # VectorCorreccionesCertificado = np.array([ ,, ])
93 VectorCorreccionesCertificado = DatosCertificadoPatronEmisor - VectorDatosCertificadoPatronSMN
94 VectorUexpCertificado = np.array([0.3,0.3,0.2,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3 ])
95
96 '''Agregar la Resolucion del instrumento [0] IBC, [1] Patron'''
97 ResolucionInstIBC_Patron = np.array([0.001,0.01])
98

```

```

99 '''Agregar si es necesario los punto del segundo sensor en caso de que haya'''
100 # puntosMedidos[(-30 C ,NAN%),(-20 C ,NAN%),(-10 C ,NAN%),(0 C ,NAN%),(10 C ,NAN%),(20 C ,50%)
    ,(30 C ,50%),(40 C ,50%)]
101 PuntosMagnitudSecundaria = np.array([NAN,NAN,NAN,NAN,NAN,50,50,50])
102
103 '''Definir el factor de cobertura'''
104 K_fc = 2
105 '''Ruta y nombre del archivo'''
106 RutaExcel = "ILC_11_2022\Temperatura PT100\S1_09316"
107
108
109 '''Hasta ac setea el operador No tocar nada de abajo'''
110
111 VectorDatosInst = [ColDatosInst,ColDatosInst_PatronTemp,ColDatosInst_PatronRH]
112 VectorMagnitudes = [Magnitud,Magnitud_Patron] #pasar a VectorMagnitudes todos
113 VectorMarcas = [Marca,Marca_Patron]
114 VectorUnidades = [Unidad,Unidad_Patron]
115
116
117 # parseamos los datos
118 print("\nDatosAscIBC\n")
119 MatrizMedicionesAsc = measureParser(DatosAsc,ColDatosInst,shifteo_Asc,PuntosSoloTemp,
    PuntosTemp_RH,ttFinalSoloTemp,ttFinalTemp_RH,cantidadDeMuestras)
120 print("\nDatosAscPATRON\n")
121 MatrizMedicionesAsc_Patron = measureParser(DatosAsc,ColDatosInst_PatronTemp,shifteo_Asc,
    PuntosSoloTemp,PuntosTemp_RH,ttFinalSoloTemp,ttFinalTemp_RH,cantidadDeMuestras)
122
123 # '''Graficamos Ascendente'''
124 hfmtPT100_Asc, fechaCodificada_PT100_Asc = dateTimeParser(DatosAsc,ColHora,ColFecha)
125 plotDataRaw(hfmtPT100_Asc,VectorMagnitudes,VectorUnidades,VectorMarcas,
    fechaCodificada_PT100_Asc,DatosAsc,VectorDatosInst,RutaImagen,titulo_As)
126
127
128 # parseamos los datos
129 print("\nDatosDesIBC\n")
130 MatrizMedicionesDes = measureParser(DatosDes,ColDatosInst,shifteo_Des,PuntosTemp_RH,
    PuntosSoloTemp,ttFinalTemp_RH,ttFinalSoloTemp,cantidadDeMuestras)
131 print("\nDatosDesPATRON\n")
132 MatrizMedicionesDes_Patron = measureParser(DatosDes,ColDatosInst_PatronTemp,shifteo_Patron_Des,
    PuntosTemp_RH,PuntosSoloTemp,ttFinalTemp_RH,ttFinalSoloTemp,cantidadDeMuestras)
133
134 # '''Graficamos Descendente'''
135 hfmtPT100_Des, fechaCodificada_PT100_Des = dateTimeParser(DatosDes,ColHora,ColFecha)
136 plotDataRaw(hfmtPT100_Des,VectorMagnitudes,VectorUnidades,VectorMarcas,
    fechaCodificada_PT100_Des,DatosDes,VectorDatosInst,RutaImagen,titulo_des)
137
138
139 '''Procesamos los datos y calculamos el presupuesto de incertidumbre'''
140
141 VectorPromedios, VectorDesviosEstandar, VectorHisteresis = dataProcessing(MatrizMedicionesAsc,
    MatrizMedicionesAsc_Patron,MatrizMedicionesDes,MatrizMedicionesDes_Patron,PuntosMedidos)
142
143 ''' Graficamos la curva de histeresis'''
144
145 leyenda = [titulo_As,titulo_des]
146 VectorPromedios_X = VectorPromedios[[0,2],:]

```

```

147 VectorPromedios_Y = VectorPromedios[[1,3 ],:]
148 plotResults(VectorPromedios_X,VectorPromedios_Y,VectorMagnitudes,VectorMarcas,VectorUnidades,
    RutaImagen,leyenda,"Curva de histeresis",[None,None],[None,None])
149
150 ''' Generamos la tabla curva de histeresis'''
151
152 tituloCeldas = [Magnitud + " Promedio Patron Asc",
153                Magnitud + " Promedio Patron Des",
154                "Histeresis Patr n",
155                Magnitud + " Promedio IBC Asc",
156                Magnitud + " Promedio IBC Des",
157                "Histeresis IBC"]
158 # DatosExcel = np.concatenate((VectorPromedios[1], VectorPromedios[3],VectorHisteresis[1],
    VectorPromedios[0], VectorPromedios[2],VectorHisteresis[0]),axis=1)
159 DatosExcel = np.array([VectorPromedios[1], VectorPromedios[3],VectorHisteresis[1],
    VectorPromedios[0], VectorPromedios[2],VectorHisteresis[0]])
160 printInExcel(DatosExcel,RutaExcel,Unidad,Marca,tituloCeldas,"TablaHisteresis")
161
162
163 datosCalibracionAsc = adjustmentCalibrationStandard(VectorPromedios[1,:],
    VectorDatosCertificadoPatronSMN,VectorCorreccionesCertificado,VectorUexpCertificado)
164 print("\r\n datos de Uexp patron\r\n ",datosCalibracionAsc[2])
165 datosCalibracionDes = adjustmentCalibrationStandard(VectorPromedios[3,:],
    VectorDatosCertificadoPatronSMN,VectorCorreccionesCertificado,VectorUexpCertificado)
166 datosEst_UniAsc = adjustmentStabilityUniformity(VectorPromedios[0,:],Magnitud,
    PuntosMagnitudSecundaria)
167 datosEst_UniDes = adjustmentStabilityUniformity(VectorPromedios[2,:],Magnitud,
    PuntosMagnitudSecundaria)
168 datosPresupuestoAsc = calculateUncertaintyBudget(datosCalibracionAsc,datosEst_UniAsc,
    ResolucionInstIBC_Patron,VectorPromedios[0:2,:],VectorDesviosEstandar[0:2,:],
    VectorHisteresis,cantidadDeMuestras,K_fc)
169 datosPresupuestoDes = calculateUncertaintyBudget(datosCalibracionDes,datosEst_UniDes,
    ResolucionInstIBC_Patron,VectorPromedios[2:4,:],VectorDesviosEstandar[2:4,:],
    VectorHisteresis,cantidadDeMuestras,K_fc)
170
171 plotResults(VectorPromedios[[0],:],VectorPromedios[[1],:],VectorMagnitudes,VectorMarcas,
    VectorUnidades,RutaImagen,leyenda,"Curva de incertidumbre",[datosPresupuestoAsc[4]],[None
    ])
172 tituloCeldas = [Magnitud + " Promedio Corregida Patron Asc",
173                Magnitud + " Promedio IBC Asc " + Marca,
174                "Correcciones IBC Asc",
175                "Incertidumbre Combinada IBC Asc",
176                "Incertidumbre Expandida IBC Asc",
177                "Grados De Libertad Combinada IBC Asc",
178                Magnitud + " Promedio Corregida Patron Des",
179                Magnitud + " Promedio IBC Des " + Marca,
180                "Correcciones IBC Des",
181                "Incertidumbre Combinada IBC Des",
182                "Incertidumbre Expandida IBC Des",
183                "Grados De Libertad Combinada IBC Des"]
184
185
186 DatosExcel = datosPresupuestoAsc + datosPresupuestoDes
187 printInExcel(DatosExcel,RutaExcel,Unidad,Marca,tituloCeldas,"TablaResultados")

```

**Código 3:** Código de procesamiento de datos para el sensor de temperatura PT100.

El desarrollo de las funciones *measureParser()*, *dateTimeParser()*, *plotDataRaw()*, *dataProcessing()*, *adjustment-CalibrationStandard()*, *adjustmentStabilityUniformity()*, *calculateUncertaintyBudget()* *plotResults()*, *printlnExcel()* se podrá solicitar a los autores de esta Nota Técnica<sup>2</sup>.

## A.2. Cálculo del error normalizado $E_n$

Para la evaluación de los resultados, el protocolo de la ILC RAIV (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.

---

<sup>2</sup>caranda@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](mailto:lia@smn.gov.ar)), Luciano Vidal ([lvidal@smn.gov.ar](mailto:lvidal@smn.gov.ar)) o Martín Rugna ([mrugna@smn.gov.ar](mailto: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](mailto:macevedo@smn.gov.ar)).