

CONTRASTACIÓN Y CALIBRACIÓN DE EQUIPOS HOBO TIPO H08-003, TIPO PENDANT UA-001, Y TIPO U12-013

Alicia Betman¹, Julieta Balter¹, Carolina Ganem^{1,2}

¹Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET. Mendoza, Argentina

²Facultad de Artes y Diseño (FAD), Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina

Avenida Ruiz Leal S/N Pque Gral San Martín. C.P. 5500 Mendoza – Argentina. Email: abetman@mendoza-conicet.gob.ar

Recibido 05/2023; Aceptado 07/2023

RESUMEN.- Este trabajo tuvo como objetivo evaluar las mediciones de temperatura obtenidas con distintos equipos registradores de datos (Datalogger) HOBO, comparándolas con las de un instrumento más preciso: HOBO tipo UX100-003. Los datos fueron recolectados durante una estación intermedia (otoño) en un período de 4 días. Se evaluó la precisión del siguiente equipamiento: 2 Dataloggers tipo H08-003, 2 Dataloggers tipo Pendant UA-001 y 2 Dataloggers tipo U12-013. Las comparaciones entre las medidas obtenidas con los distintos dispositivos y el instrumento más preciso se realizaron calculando el error medio cuadrático y el error medio cuadrático porcentual. Como resultado se obtuvo que, para los equipos H08-003-02 y U12-013 las variaciones advertidas en los registros se encuentran dentro del rango de precisión establecida por el fabricante. Con respecto al HOBO Pendant UA-001, las mediciones mostraron diferencias mayores a las esperadas. Para obtener una mejor aproximación de los valores medidos al instrumento más preciso se calculó para cada HOBO una curva de calibración aplicando mínimos cuadrados. La ecuación que representa cada una de estas curvas podrá incorporarse a un software que permitirá mejorar la confiabilidad de las mediciones obtenidas con los dataloggers de menor precisión.

Palabras clave: Medición, Datalogger, Precisión, Cálculo de Error medio cuadrático, Curva de calibración.

CONTRAST AND CALIBRATION OF EQUIPMENT HOBO TYPE H08-003, TYPE PENDANT UA-001, AND TYPE U12-013

ABSTRACT.- The objective of this work was to evaluate the temperature measurements obtained with different HOBO data loggers, comparing them with those of a more precise instrument: HOBO type UX100-003. The data was collected during an intermediate season (autumn) in a period of 4 days. The precision of the following equipment was evaluated: 2 Dataloggers type H08-003, 2 Dataloggers type Pendant UA-001 and 2 Dataloggers type U12-013. Comparisons between the measurements obtained with the different devices and the most accurate instrument were made by calculating the mean square error and the percentage mean square error. As a result, it was obtained that, for the H08-003-02 and U12-013 equipment, the variations announced in the records are within the precision range established by the manufacturer. Regarding the HOBO Pendant UA-001, those detected showed greater differences than expected. To obtain a better approximation of the measured values to the more precise instrument, a calibration curve was calculated for each HOBO using least squares. The shape that represents each of these curves will be incorporated into a software that will improve the reliability of the measurements obtained with the less precise data loggers.

Keywords: Measurement, Datalogger, Precision, Mean Square Error Calculation, Calibration Curve.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las auditorías edilicias y la relación que ellas guardan con la materialización constructiva, son un importante aporte para el desarrollo de estrategias de eficiencia energética y el adecuado diseño arquitectónico en sus aspectos tecnológico-constructivos (Balter et al., 2013) (Re et al., 2010).

De acuerdo a lo expresado por Ali et al. (2016), la necesidad de recopilar datos de alta calidad en los edificios sigue aumentando (Guerra-Santin y Tweed, 2015), ya que una mejor información sobre el rendimiento de los edificios puede mejorar nuestra comprensión del uso de la energía (Babaei et al., 2015), comodidad térmica (Langevin et al., 2015), calidad ambiental interior (IEQ) (Ramos et

al., 2015) (Heinzerling et al., 2013), e incluso la microbiología del entorno construido (Ramos y Stephens, 2014).

Para poder asegurar calidad y confiabilidad en los datos obtenidos de cualquier tipo, los sensores que la miden deben ser calibrados regularmente contra sensores patrones (Nollas y Perez Fogwill, 2019).

Analizar las diferencias de temperatura entre espacios interiores requiere conocer la precisión de los equipos de medición a los efectos de evitar distorsiones en el análisis del comportamiento térmico. La OMM recomienda la calibración de un instrumento como primer paso para asegurar la validez y calidad de los datos, así como especificar el tipo de exposición, ubicación y procedimientos para la lectura del instrumento (Da Cunha, 2015).

Una combinación ideal de dispositivo de registro de datos y sensor, debe ser de bajo costo, robusta, fácil de programar, independiente de la alimentación de CA y tener una gran memoria para el registro remoto de datos a largo plazo (Kaptein y Titshall, 2019) (Gebregiorgis y Savage, 2006).

Un Datalogger es un dispositivo electrónico que registra datos en el tiempo por medio de sensores propios o conectados externamente. Los registradores de datos HOBO se encuentran entre los instrumentos más utilizados para obtener la temperatura del aire. Incluso, existen distintos tipos de HOBO con diferentes grados de precisión. Estos valores varían entre $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ a $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$.

Además, el éxito de los datalogger tipo HOBO se debe a que se trata de un dispositivo compacto, duradero y de bajo costo que consume poca energía. Proporciona información con una precisión aceptable y tiene una capacidad de almacenamiento suficiente para múltiples investigaciones meteorológicas y climatológicas (Nakamura et al., 2005).

Sin embargo, cuando pasa determinado tiempo de uso, o incluso de desuso a veces, estos equipos pueden presentar falencias al momento de registrar datos de forma precisa.

Además, muchas veces en los centros de investigación a nivel nacional, la diversidad de equipos de medición de temperatura y humedad resulta muy amplia. Esto se debe, por un lado, a las crecientes necesidades de aumentar la cantidad de instrumentos, y por otro lado, a las dificultades económicas de acceso a productos importados. Por estos motivos resulta necesario establecer métodos de calibración confiables posibles de ser aplicadas en una variedad de dispositivos de medición.

En consecuencia, el objetivo del presente trabajo consta en verificar el grado de precisión de mediciones realizadas con sistemas de mediana complejidad mediante la calibración y validación de equipos (HOBO). De esta manera, se pretende definir criterios de corrección o ajuste frente a posibles variaciones entre las mediciones futuras a realizar en distintas tipologías urbano-edilicias.

2. METODOLOGÍA

Las mediciones se efectuaron en condiciones termo-ambientales controladas. Los sistemas se ubicaron a igual altura en un espacio, sin recibir radiación solar directa, ni efectos directos de ventilación. El estudio se realizó en una oficina construida de contenedores reciclados ubicados en el CCT Mendoza, CONICET ($32^{\circ}53' \text{ S}$ y $68^{\circ}51' \text{ W}$). Las dimensiones del espacio son: 6.50 m. de largo, 2.50 m. de ancho y 2.90 m. de alto. (ver Figura 1).

El sitio en estudio corresponde al área metropolitana de la ciudad de Mendoza. Presenta un clima templado continental con considerables diferenciaciones en las temperaturas estacionales. En verano (mes de enero) las temperaturas máximas, medias y mínimas absolutas se encuentran en $37,40^{\circ}\text{C}$, $23,60^{\circ}\text{C}$ y $6,20^{\circ}\text{C}$; mientras que en invierno (mes de julio) éstas son de $27,80^{\circ}\text{C}$, $7,80^{\circ}\text{C}$ y $-5,70^{\circ}\text{C}$. Dicha rigurosidad climática se acentúa debido al escaso porcentaje de humedad relativa anual (54,70%). Asimismo las precipitaciones no superan los 218mm anuales.

Se estudiaron los resultados de las mediciones de temperatura obtenidas a partir de los sistemas HOBO en el periodo comprendido entre los días 19 a 22 de Mayo 2022.

Con respecto a la temperatura exterior, la máxima característica para este mes se encuentra entre 16°C y 19°C , la media corresponden entre 11°C y 13°C y la mínima está entre 6°C y 8°C . (SMN Servicio Meteorológico Nacional.).



Fig. 1: Ubicación en planimetría y planta.



Fig. 2: Ubicación de los instrumentos en el espacio.

La oficina presenta horarios de ocupación durante la semana, estos horarios ponen de manifiesto el encendido de sistema de calefacción: estufa de tiro balanceado de 3000 [kcal/h], que eleva la temperatura del ambiente. Los días 19-05 y 20-05 corresponden a días laborables, en consecuencia, el horario de ocupación es de 09:00 hs a 17:00 hs. La cantidad de personas presentes fueron tres. En los días de fines de semana, correspondientes al 21-05 y 22-05 la oficina no presentó ocupación ni climatización.

La ubicación de los dispositivos fue a igual altura sobre un mueble a una elevación de 1.60 m de forma tal que no tenga radiación solar directa, ni se encuentre cerca del equipo de climatización, o de la puerta de acceso, de forma tal que las condiciones de temperatura resulten lo más estables posibles.

Se evalúan los siguientes equipos (Tabla 1 y 2):

- 2 Instrumentos Dataloggers tipo H08-003-02, HOBO-ONSET. Rango de temperatura: -20° a 70°C . Precisión: $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$.
- 2 Instrumentos Dataloggers tipo Pendant UA-001, HOBO-ONSET. Rango de temperatura: -20° a 70°C . Precisión: $\pm 0.53^{\circ}\text{C}$ de 0° a 25°C .
- 2 Instrumentos Dataloggers tipo U12-013, HOBO-ONSET. Rango de temperatura: -20° a 70°C . Precisión: $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ de 0° a 50°C .

Tabla 1: Características generales de los instrumentos.

Equipo HOBO	H08-003	Pendant UA-001	U12-013	UX100-003
Valor actual en el mercado sin impuestos	Precio no disponible por discontinuidad	Usd 79	Precio no disponible por discontinuidad	Usd 115
Imagen del dispositivo				

Tabla 2: Características técnicas de los instrumentos.

	INTRUMENTOS A EVALUAR			INSTRUMENTO PATRÓN
	H08-003-02	Pendant UA-001	U12-013	UX100-003
CANTIDAD DE EQUIPOS PARA LA EXPERIENCIA	2	2	2	1
POSEE SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA	SI	NO	SI	SI
RANGO DE TEMPERATURA	-20 ° a 70 °C	-20 ° a 70 °C	-20 ° a 70 °C.	-20 ° a 70 °C.
PRECISIÓN	+/- 0.7 °C	+/- 0.53°C de 0° a 25°C	+/- 0.35°C de 0° a 50°C	+/- 0.21° de 0° a 50°C
TAMAÑO	6.09 x 4.80 x 2.03 cm	5.8 x 3.3 x 2.3 cm	5.8 x 7.4 x 2.2 cm	66 x 8.48 x 1.52 cm
PESO	25 g	15 g	46 g	30g
POSEE ALARMA	NO	SI	NO	NO
POSEE DISPLAY	NO	NO	NO	SI
ES SUMERGIBLE	NO	SI	NO	NO
BIT DE RESOLUCIÓN	8	12	12	12
SOFTWARE DE TRABAJO	BOXCAR	HOBOWARE	HOBOWARE	HOBOWARE

El instrumento patrón:

- 1 Instrumento Datalogger tipo UX100-003, HOBO-ONSET. Rango de temperatura: -20 a 70 °C. Precisión: +/- 0.21° de 0° a 50°C.

Actualmente los modelos de HOBO tipo H08-003 yU12-013 se encuentran discontinuados del mercado. Los equipos que que si se comercializan son: el modelo tipo Pendant UA-001 con un valor de Usd 79, y el tipo UX100-003 con un valor de Usd 115.

3. RESULTADOS

Se presentan los resultados de las mediciones de temperatura obtenidas con sistemas HOBO en condiciones controladas. Las mismas se realizaron en el período de 96 horas entre los días 19 al 22 de mayo del 2022. Se analizan comparativamente de acuerdo a la diferenciación de los equipos utilizados.

Una vez finalizado el período de medición, se apreció que uno de los Instrumentos tipo Pendant UA-001, no registró medida alguna. Esto resulta extraño dado que, al momento de lanzar todos los datalogger se les colocó una batería nueva a cada uno junto con la verificación de los registros configurados para su trabajo. Motivo por el cual, se presume que este dispositivo posee problemas en su funcionamiento.

En consecuencia, se ha enviado el instrumento a mantenimiento para que le hagan una revisión técnica. Mientras tanto, fue apartado de este trabajo.

3.1. Diferencia térmica (ΔT) diaria en cada uno de los sistemas

En la figura 3 se presentan las curvas de temperatura de los 5 equipos HOBO en estudio, junto con el Instrumento patrón para los 4 días de análisis.

Se puede observar que los ΔT diarios presentados para todos los instrumentos resultan de tendencia similar acorde a los mínimos y máximos presentados por cada equipo. Los registradores de datos HOBO tipo H08-003 y tipo Pendant UA-001 muestran diferencias en cuanto a las medidas de temperatura con respecto al instrumento patrón. La mayor amplitud de esa diferencia se registró en las temperaturas mínimas. Por otro lado, los datalogger tipo U12-013 presentan un excelente grado de similitud con respecto al instrumento patrón.

Los instrumentos tipo H08-003 presentan un marcado escalonamiento en las mediciones. Las variaciones de los registros se encuentran dentro del rango de precisión del equipo (+/-0.70°C). Dentro de los mismos, el equipo A muestra mejores resultados que el B.

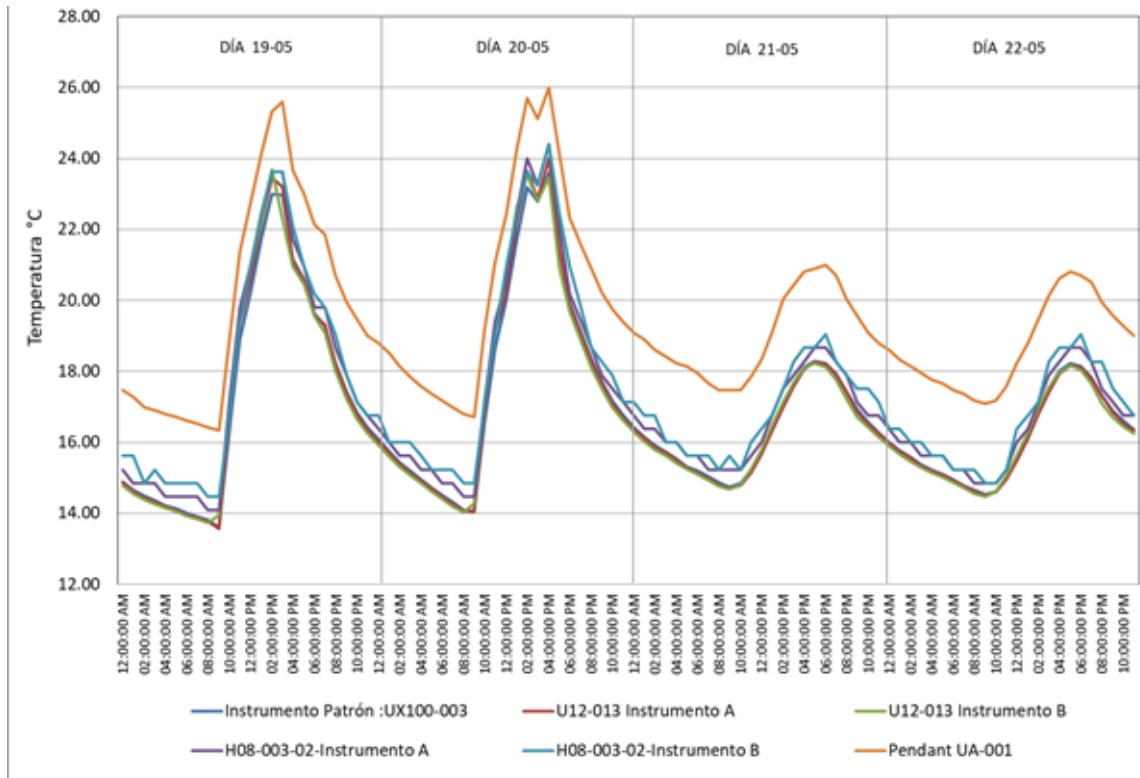


Fig. 3: Mediciones de temperatura del aire (°C)

En cuanto al datalogger PendantUA-001, los datos obtenidos manifiestan una diferencia del orden de 2.5 °C por encima para todos los valores de temperatura. Esta diferencia se encuentra muy alejada de lo establecido por el fabricante (+/- 0.53°C).

Los equipos tipo U12-013 resultan los más cercanos al instrumento patrón, presentando unas curvas muy similares. Las variaciones se encuentran dentro del rango de precisión del equipo (+/-0.35°C), presentan una diferencia mayor en los picos de las máximas donde puede observarse que las curvas se separan. Esta discrepancia resulta del orden de 0.45°C en los registros para el instrumento A y 0.70°C para el instrumento B.

3.2. Diferencias en la adquisición de datos de cada tipo de sistema:

Se advierte que los sistemas H08-003 registran los datos de temperatura obtenidos a modo de repetición, con saltos en la mayoría de los casos del orden de 0.40°C, lo cual se refleja en el escalonamiento de sus curvas. En cambio, los U12-013 y Pendant UA-001 presentan mayor suavidad en las curvas debido a que las mediciones presentan variaciones que se encuentran en un rango de 0.01 a 0.30°C.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Valormedido_i - Valorverdadero_i)^2}{N}}$$

$$RMSE\% = \left(\frac{RMSE}{\frac{\sum_{i=1}^N Valorverdadero_i}{N}} \right) \times 100$$

3.3. Cálculo del error medio cuadrático

Para estudiar las diferencias que existen entre los datos obtenidos con el instrumento patrón y cada uno del resto de los instrumentos se calculó el error medio cuadrático. El valor obtenido con el instrumento patrón se lo denominó valor verdadero a fin de realizar la comparación.

Tabla 3. Valores RMSE y RMSE%

	H08-003-02-Instrumento A	H08-003-02-Instrumento B	Pendant UA-001	U12-013 Instrumento A	U12-013 Instrumento B
RMSE (mediciones vs. verdadero)	0.4208	0.6436	2.6005	0.1488	0.2853
RMSE % (mediciones vs. verdadero)	2.4927	3.8122	15.4039	0.8816	1.69

Los valores de RMSE indican que el datalogger más preciso es el tipo U12-013, instrumento A, y en segundo lugar su análogo el tipo U12-013, instrumento B (tabla 3).

El equipo más alejado de los valores verdaderos resulta el datalogger Pendant UA-001 con un valor de RMSE % de 15.

3.4. Curvas de calibración

Se aplicó mínimos cuadrados para disponer de ecuaciones que representen una curva de calibración para cada uno de los equipos contrastados. A continuación se presentan las gráficas con las mediciones registradas con cada instrumento, la curva de calibración obtenida por mínimos cuadrados y su correspondiente ecuación.

3.5. Estadísticos representativos de la aplicación de mínimos cuadrados

Se presenta una excelente relación entre valor estimado y valor verdadero mediante el cálculo de regresión lineal por mínimos cuadrados. Los valores obtenidos de R² en todos los modelos resultan muy cerca-

nos a uno, demostrando que las curvas de calibración obtienen valores próximos a los valores verdaderos medidos por el instrumento patrón (tabla 4). La media de los residuos de todas las curvas de calibración resultó próxima a cero evidenciando que los mismos son aleatorios y que los modelos obtenidos son de alto grado de aproximación.

Mediante la obtención de su curva de calibración el datalogger Pendant UA-001 resulta preciso, pasando de un RMSE% 15 de valores medidos a un RMSE% de valores estimados de 0.6 (tabla 4).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Valor_{estimado,i} - Valor_{verdadero,i})^2}{N}}$$

$$RMSE\% = \left(\frac{RMSE}{\frac{\sum_{i=1}^N Valor_{verdadero,i}}{N}} \right) \times 100 \quad (2)$$

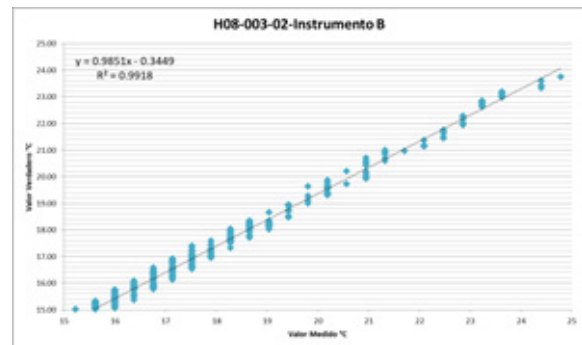
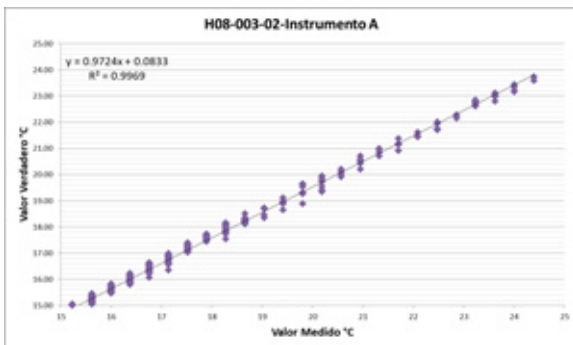


Fig. 4 y 5. Curva de calibración de los equipos H08-003-02 Instrumento A y B

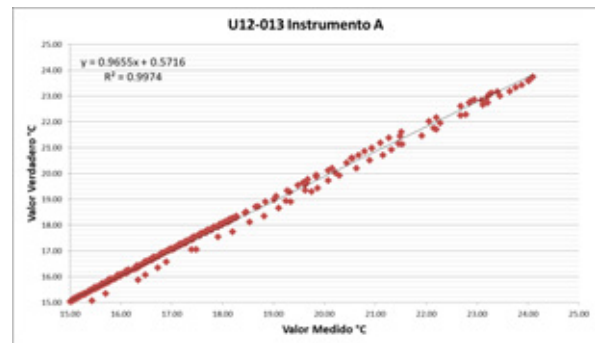
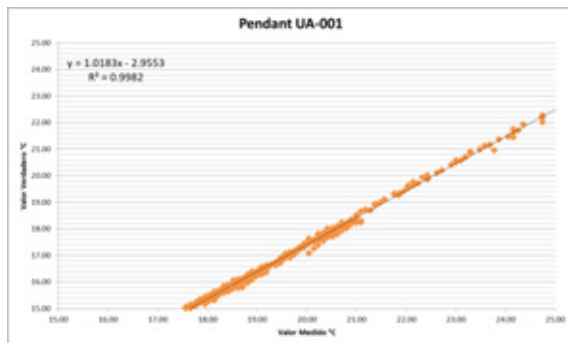


Fig. 6 y 7. Curva de calibración del equipo Pendant UA- 001 y del equipo U12-013 Instrumento A.

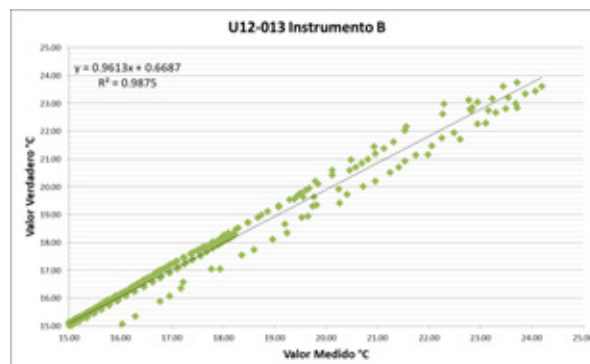


Fig. 8. Curva de calibración U12-013 -Instrumento B

Tabla 4. Valores estadísticos

	H08-003-02- Instrumento A	H08-003-02- Instrumento B	Pendant UA-001	U12-013 Instrumento A	U12-013 Instrumento B
RMSE (estimaciones vs. verdadero)	0.1326	0.2166	0.1006	0.1214	0.2683
RMSE % (estimaciones vs. verdadero)	0.7855	1.2831	0.5961	0.719	1.5891
Medio de los residuos	-5.2E-05	0.0005	0.0006	0.0002	-0.0005
R²	0.9969	0.9918	0.9982	0.9974	0.9875
Coefficiente lineal	0.9724	0.9851	1.0183	0.9655	0.9613
Término independiente	0.0833	-0.3449	-2.9553	0.5716	0.6687

4. CONCLUSIONES

En conclusión, este estudio ha permitido evaluar la exactitud y confiabilidad de los equipos utilizados en el laboratorio a lo largo de varios años. Se realizó una comparación con un instrumento patrón de mayor precisión para determinar el grado de confiabilidad de los valores obtenidos por los distintos equipos.

Mediante el cálculo del error medio cuadrático se pudo comprobar el grado de confiabilidad de los valores obtenidos por los distintos equipos. Además, se aplicó mínimos cuadrados y se obtuvieron curvas de calibración con un excelente grado de aproximación a los valores medidos con el instrumento patrón.

Las variaciones comprobadas en las mediciones de los sistemas HOBO se encuentran dentro del rango de precisión de los equipos, es decir que se encuadran dentro de los límites de resolución y exactitud que provee el fabricante: $\pm 0.70^\circ$ para los HOBO H08 y $\pm 0.35^\circ$ para los HOBO U12-013.

Se observó que el equipo más preciso fue el U12-013, Instrumento A, lo cual era de esperar, ya que se trata del equipo más preciso disponible en el laboratorio. Por otro lado, el dispositivo U12-013, Instrumento B, también presentó una buena precisión, aunque con una ligera diferencia y un mayor margen de distancia con respecto al instrumento patrón.

Los equipos H08-003 Instrumentos A y B, al tratarse de la tecnología más antigua en equipos registradores de datos, presentan una curva con escalonamientos lo que tiende a dificultar la lectura de la comparativa con el instrumento patrón, sin embargo, la performance de estos equipos resultó bastante positiva dado que se trataba de los instrumentos menos precisos de esta experiencia.

El instrumento Pendant UA-001 demostró ser el menos confiable en términos de resultados, ya que los valores obtenidos diferían en aproximadamente 2.5°C de los valores reales. Sin embargo, mediante la aplicación de su curva de calibración, fue posible obtener valores con una buena aproximación, tal como lo indicó un RMSE del 0.6%.

Además, es relevante señalar que este último instrumento mencionado, ofrece funcionalidades adicionales. Aparte de medir la temperatura del aire, cuenta con la capacidad de sumergirse y medir también la temperatura del agua. Esto lo convierte en una opción a considerar para aplicaciones que requieran mediciones en diferentes medios. Conjuntamente, su costo es inferior en comparación con otros modelos disponibles en el mercado, lo cual puede ser un factor determinante en la elección del equipo adecuado.

También, el estudio revela que, si bien los dispositivos diseñados para distintas condiciones en el exterior tienen una menor precisión, presentan la fortaleza de resistir las circunstancias climáticas adversas. Por otro lado, los instrumentos diseñados para el interior ofrecen una mayor precisión, pero carecen de la capacidad de soportar los escenarios exteriores. En la práctica, en muchas oportunidades se utilizan dispositivos interiores con un sistema de protección adicional para realizar mediciones exteriores, y de esta forma poder optimizar el rendimiento del equipo disponible. Sin embargo, surge la interrogante de si la protección agregada afecta el valor de las mediciones, es decir, si los valores se ven alterados porque el dispositivo de protección del sensor, que se adiciona, le confiere una mayor resistencia. Esto plantea el desafío de cómo abordar las mediciones de temperaturas interiores y exteriores de forma conjunta. Por lo que se sugiere que se realicen pruebas de calibración en condiciones controladas de todos los sensores a utilizar, previo a su ubicación en el caso de estudio, y que el sensor que se utilizará en el exterior incluya para dicha instancia el elemento protector con el que se colocará.

En resumen, los resultados de este estudio proporcionan información valiosa sobre la exactitud y confiabilidad de los equipos utilizados en el laboratorio. Se destaca la importancia de tener en cuenta el objetivo específico de las mediciones al seleccionar el equipo adecuado. Asimismo, se recomienda disponer de un software que procese los datos obtenidos por cada datalogger utilizando las curvas de calibración correspondientes para garantizar la confiabilidad de los resultados.

REFERENCIAS

- Ali, A. S., Zanzinger, Z., Debose, D., & Stephens, B. (2016). Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection. *Building and Environment*, 100, 114–126. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.010>
- Babaei, T., Abdi, H., Lim, C. P., & Nahavandi, S. (2015). A study and a directory of energy consumption data sets of buildings. *Energy and Buildings*, 94, 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.043>
- Balter, J., Ganem, C., & Canton, M. (2013). Evolución morfológica y materialización en edificios en altura en la ciudad de Mendoza : incidencias en el comportamiento térmico interior. *Area. Agenda de Reflexión En Arquitectura*, 19, 1–15.
- Da Cunha, A. R. (2015). Evaluation of measurement errors of temperature and relative humidity from HOBO data logger under different conditions of exposure to solar radiation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(5). <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4458-x>
- Dunham, J., Chandler, G., Rieman, B. y Martin, D. (2005). Medición de la temperatura de la corriente con registradores de datos digitales: guía del usuario. USDA Servicio Forestal Gen. Tech. Representante
- Gebregiorgis MF y Savage MJ (2006) Campo, laboratorio y límites estimados del contenido de agua en el suelo. *Agua SA* 32155–162. <http://dx.doi.org/10.1080/02571862.2006.10634746>
- Guerra-Santin, O., & Tweed, C. A. (2015). In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods. *Energy and Buildings*, 93, 189–207. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.042>
- Heinzerling, D., Schiavon, S., Webster, T., & Arens, E. (2013). Indoor environmental quality assessment models: A literature review and a proposed weighting and classification scheme. *Building and Environment*, 70, 210–222. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.027>
- Kaptein, N. D., & Titshall, L. W. (2019). A simple calibration of hobo 4 channel analogue dataloggers for use with Watermark 253–L soil water potential sensors. *Water SA*, 45(2), 160–164. <https://doi.org/10.4314/wsa.v45i2.01>
- Langevin, J., Wen, J., & Gurian, P. L. (2015). Simulating the human-building interaction: Development and validation of an agent-based model of office occupant behaviors. *Building and Environment*, 88, 27–45. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.037>
- Nakamura, R. y Mahrt, L. (2005). Medición de la temperatura del aire errores en los refugios de radiación con ventilación natural. *Revista de Tecnología Atmosférica y Oceánica*, 22, 1046–105.
- Nollas, F., y G. Perez Fogwill, (2019): Calibración de piranómetros s/n 955992 y 955993 del Servicio Meteorológico Nacional. *Nota Técnica SMN 2019-58*.
- ONSET (2023) Registrador de datos analógico Hobo tipo H08-003-02. Manual de instrucciones. (Consultado el 25 de abril de 2023)
- ONSET (2023) Registrador de datos analógico Hobo tipo Pendant UA-001. *Manual de instrucciones*. (Consultado el 25 de abril de 2023). Precio comercial: <https://www.scaledinstruments.com/shop/onset/data-logger/water/onset-ua-001-64-hobo-64k-pendant-temperature-alarm-waterproof-data-logger/> (Consultado el 25 de abril de 2023)
- ONSET (2023) Registrador de datos analógico Hobo tipo U12-013. *Manual de instrucciones*. (Consultado el 25 de abril de 2023).
- ONSET (2023) Registrador de datos analógico Hobo tipo UX100-003. *Manual de instrucciones*. (Consultado el 25 de abril de 2023) Precio comercial: <https://www.scaledinstruments.com/shop/onset/data-logger/onset-ux100-003-hobo-temperature-relative-humidity-3-5-data-logger/> (Consultado el 25 de abril de 2023).
- Ramos, T., Dedesko, S., Siegel, J. A., Gilbert, J. A., & Stephens, B. (2015). Spatial and temporal variations in indoor environmental conditions, human occupancy, and operational characteristics in a new hospital building. *PLoS ONE*, 10(3), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118207>
- Ramos, T., & Stephens, B. (2014). Tools to improve built environment data collection for indoor microbial ecology investigations. *Building and Environment*, 81, 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.07.004>
- Re, M., Blasco Lucas I. 2010. “Comportamiento Higrotérmico, Lumínico y Energético de edificios residenciales ubicados en la ciudad de San Juan”. *Revista AVERMA Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 14. ISSN 0329-5184. (Argentina Salta: INENCO-UNSa, 2010), 181-188