

Diseño de un caracterizador de medios isotermos basado en ESP32 y DS18B20 en el entorno de programación de Arduino

Design of an isothermal media characterizer based on ESP32 and DS18B20 on the Arduino programming environment

Projeto de um qualificador térmico baseado em ESP32 e DS18B20 no ambiente de programação do Arduino

 **DANIEL LORENZO** (1)(2)

- (1) Taller de Instrumentos, DETEMA, Facultad de Química, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- (2) Unidad de Aseguramiento de la Calidad de Equipos e Instrumentos de Medición, IPTP, Facultad de Química, Universidad de la República, Pando, Uruguay.

RECIBIDO: 18/2/2023 → APROBADO: 22/5/2023  dlorenzo@fq.edu.uy

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño de un dispositivo de bajo costo apto para el alcance de las determinaciones que se llevan a cabo en la Facultad de Química de la Universidad de la República y el Instituto Polo Tecnológico de Pando, de esta facultad, que permite calificar o caracterizar medios isotermos con placas económicas basadas en el entorno de desarrollo Arduino. El dispositivo construido permite la lectura simultánea de la temperatura en 9 puntos y mediante la conexión a internet por medio del Wi-Fi de la placa se transmiten las lecturas a servidores de la Facultad de Química, donde queda registrada la telemetría que posteriormente puede ser descargada para su análisis. Al mismo tiempo, los datos son enviados a un *dashboard* (tablero virtual) que permite la lectura de las mediciones en tiempo real. Conectado a la alimentación eléctrica y con un Wi-Fi estable se pueden realizar mediciones 24/7 en forma remota. El dispositivo permitió calificar varios medios isotermos, informándose algunos valores representativos de la potencialidad de este tipo de desarrollos.

Palabras clave: MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), metrología, temperatura.

ABSTRACT

This work presents the design of a low-cost device, suitable for the scope of the determinations that are carried out in the Facultad de Química of the Universidad de la República and the Instituto Polo Tecnológico de Pando allowing the qualification of isothermal media, with low-cost microcontroller boards based on the Arduino development environment. The device also allowed the simultaneous temperature readings at 9 points, and by connecting to the internet through its integrated Wi-Fi, the results were transmitted to Facultad de Química servers, where the telemetry is recorded and can later be downloaded for analysis. Simultaneously the data were sent to a dashboard that allows the reading of the measurements in real time. Being connected to the power supply and with a stable Wi-Fi connection, measurements can be taken 24/7 remotely. The device allowed the qualification of several isothermal media, reporting some representative values of the potential of this type of development.

Keywords: MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), metrology, temperature.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo, adequado ao escopo das determinações que são realizadas na Faculdade de Química de la Universidad de la República e no Instituto Polo Tecnológico de Pando desta facultade, que permite a qualificação de performance de meios isotérmicos com placas econômicas baseadas no ambiente de desenvolvimento Arduino. O dispositivo desenvolvido permite a leitura simultânea da temperatura em 9 pontos, e por meio da conexão à Internet através do Wi-Fi da placa as leituras são transmitidas para servidores da Faculdade de Química, onde é armazenada a telemetria, dados que posteriormente podem ser descarregados para a sua análise. Ao mesmo tempo, os dados são enviados para um painel que permite a leitura das medições em tempo real. Estando conectado à fonte de alimentação e com uma conexão Wi-Fi estável, é possível realizar medições remotamente 24 horas por dia, 7 dias por semana. O dispositivo permitiu qualificar diversos meios isotérmicos, reportando alguns valores representativos das potencialidades deste tipo de empreendimento.

Palavras-chave: MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), metrologia, temperatura.

INTRODUCCIÓN

La calibración o caracterización de un medio isoterma consiste en la determinación de la corrección de la temperatura alcanzada, su fluctuación (estabilidad) y/o el gradiente de temperatura (uniformidad) del espacio de trabajo (EURAMET, 2017).

El espacio de trabajo estará definido por el área efectiva, es decir, en el que la temperatura permanece en condiciones estables para realizar los ensayos. Normalmente los límites del área efectiva son paralelos a los límites del área interna del equipo.

El método general de caracterización consiste en la medición -utilizando varias sondas patrón- de la temperatura en un cierto volumen, o zona de trabajo, durante un determinado

tiempo (Figura 1). Con las medidas de esas sondas se determinan las características del medio o los parámetros, generalmente la estabilidad y homogeneidad (uniformidad).

En forma genérica, los diferentes tipos de equipos principales -o dispositivos de ensayo climáticos- que se pueden encontrar son: hornos y estufas, incubadoras, cámaras climáticas, refrigeradores, baños termostáticos o termostatizados, baños de bloque seco y autoclaves de esterilización.

Los requisitos o parámetros por caracterizar dependerán del tipo de ensayo climático a realizar en los medios isotermos, siendo los más habituales: la estabilidad (temperatura o humedad), la uniformidad (temperatura o humedad), la corrección de la indicación (temperatura o humedad), u otros parámetros temporales como, por ejemplo, la inercia térmica, el tiempo de recuperación, el tiempo de transferencia o decrecimiento térmico y, para el caso de autoclaves, los tiempos de esterilización, el mantenimiento y el equilibrio.

Para llevar a cabo la caracterización se requiere disponer de un conjunto de sensores a fin de determinar la uniformidad del medio y la estabilidad. La estabilidad podría determinarse con una sola sonda, haciéndola variar en distintas posiciones, pero para calcular la homogeneidad es necesario leer varios sensores a la vez, por lo que se necesita disponer de varios conjuntos de TLD (termómetros de lectura directa: sondas Pt100, termopares con un indicador o similares).

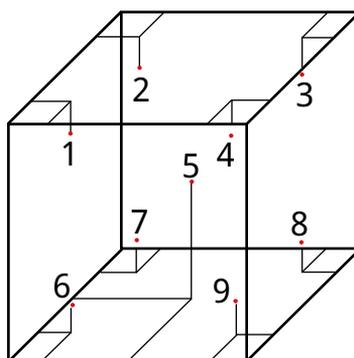


FIGURA 1. Medición en 9 puntos. Ubicación de los sensores para caracterizar un medio isotermo (EURAMET, 2017).

El tipo de sensor a ser utilizado dependerá de la temperatura de caracterización de la estufa-horno. En el caso de estufas con temperaturas de trabajo menores a 250/300 °C, por lo general se utilizan sensores tipo Pt100, y para caracterizar medios isotermos de temperaturas mayores a 300 °C, se usan termopares tipo N (Nicrosil-Nisil), ya que son mucho más estables que los de tipo K (Cromel/Alumel). En este trabajo se utilizó el intervalo de temperatura -20 °C - 125 °C, para lo cual se incorporó el uso de sensores digitales DS18B20 (Maxim Integrated, inc, Estados Unidos). Se trata de un sensor digital de temperatura con encapsulado de tipo TO-92 similar al empleado en transistores pequeños. Con este sensor se pueden medir temperaturas a partir de -55 °C y hasta 125 °C, con una resolución programable desde 9 hasta 12 bits (entre 0.5 °C y 0.0625 °C respectivamente), y una exactitud de 0.5 °C entre -10 °C y 85 °C. El sensor se caracteriza por ser utilizable para la medición de temperatura tanto en ambientes domésticos como industriales. A su vez, sus características permiten crear redes con un gran número de sensores.

El equipamiento requerido para la medida de los sensores consiste, por lo general, en multicalibradores; es decir, sistemas de adquisición de datos organizados de tal forma que puedan leer todos los sensores a la vez para hacer posible la determinación del parámetro de homogeneidad. Este tipo de sistemas presenta como dificultad su costo relativamente elevado. En la Tabla 1 se compara el sistema propuesto con algunos modelos comerciales.

También podrían emplearse 9 *dataloggers* distintos en forma simultánea. Esto implicaría descargar los datos de cada uno de los 9 instrumentos por separado para luego componerlos en una planilla que combine las distintas lecturas.

En este trabajo se llevó a cabo el diseño y la construcción de un multicalibrador de bajo costo, usando sensores DS18B20, para calificar medios isotermos disponibles en la Facultad de Química de la Universidad de la República.

Si bien en la literatura es frecuente encontrar dispositivos basados en ESP32, ESP8266 o Arduino junto a uno o más sensores DS18B20 como *dataloggers*, no es habitual el uso de estos instrumentos como multicalibradores.

TABLA 1. Evaluación de dos opciones comerciales cableadas en comparación con el calificador propuesto en este trabajo.

	Calificador de este trabajo	Calificador comercial modelo 1	Calificador comercial modelo 2	Comentarios
Precio (USD)	< 500	5.200	> 30.000	No aplica.
Número de canales	9	8	12	Lo deseable para este tipo de mapeo es 9 o más.
Resolución de las sondas (°C)	0.0625	0.02/0.001	0.01	La resolución de 0.0625 °C es aceptable para nuestro alcance.
Tipo de sensor	DS18B20	Termopar / termorresistencia	Termopar	No aplica.
Incertidumbre (°C)	0.13	0.26/0.02	No se informa	La incertidumbre de 0.13 °C es apropiada para nuestro alcance.
Software incluido	No	Sí	Sí. CFR 21/11 (U.S. Food and Drug Administration, 2023)	El tratamiento de datos con el calificador es realizado por personal del laboratorio. Si bien contar con un software de procesamiento y descarga automático de los datos resulta ventajoso, es posible realizar esas tareas en forma manual y es apropiado para nuestro alcance. Tampoco es necesario que cumpla con CFR 21 Parte 11 (U.S. Food and Drug Administration, 2023).
Rango de temperatura (°C)	-20 a 125	0 a 50	-20 a 200	El rango de temperatura es apropiado para nuestro alcance.
Frecuencia de registro	9 canales / 6 s	1 lectura / s	48 canales / s	Si bien el calificador propuesto es el más lento, la frecuencia de muestreo es apropiada para nuestro alcance (recordar que se toma una serie de datos cada 60 s).

MATERIALES Y MÉTODOS

El sensor de tipo DS18B20 (Utmel Electronic, 2019) emplea un bus de comunicación denominado 1-Wire. La principal ventaja del bus 1-Wire es que necesita un único conductor para realizar la comunicación, sin contar el conductor de tierra. Por otra parte, los dispositivos pueden ser alimentados directamente por la línea de datos o mediante una línea adicional con una tensión de entre 3.0 y 5.5 V.

Es de destacar que dentro del mismo bus 1-Wire es posible instalar tantos sensores como sea necesario. Además, permite emplear cables más largos que otros sistemas sin que se deteriore la comunicación.

En su diseño, el sensor de tipo DS18B20 está formado por un procesador con múltiples módulos que se encargan de controlar la comunicación, medir la temperatura y gestionar el sistema de alarmas.

Tal como se mencionó anteriormente, la presencia del bus de comunicación 1-Wire permite realizar la transmisión empleando únicamente un cable de datos. Para ello, 1-Wire está basado en un complejo sistema de *timings* en la señal, entre el dispositivo emisor y el receptor.

La mayor desventaja del sistema es que requiere de un código complejo, lo que a su vez supone una alta carga del procesador para consultar el estado de los sensores. El tiempo de adquisición total de una medición resulta ser de 750 ms para cada sensor.

Sin embargo, 1-Wire permite que todos los dispositivos conectados al bus se alimenten a través de la línea de datos, para lo cual dispone de un condensador que almacena energía mientras la línea de datos está en HIGH. Este modo se denomina "modo parásito". En caso de no usar el modo parásito, los dispositivos deben ser alimentados con una tensión de entre 3.0 V y 5.5 V, como se mencionó más arriba.

Independientemente del modo en que sea alimentado, el bus 1-Wire requiere de una resistencia de pull-up de 4,7 k Ω entre las líneas de datos y la alimentación para que funcione correctamente.

Para poder disponer de múltiples dispositivos en un bus 1-Wire, cada sensor contiene una memoria ROM que es grabada de fábrica con un número de 64 bits. Los 8 primeros bits corresponden a la familia (0x28 para el sensor DS18B20). Los siguientes 48 bits son únicos y corresponden al número de serie. Los últimos 8 bits son un código CRC (cyclic redundancy check). Esto significa que potencialmente se podrían llegar a tener 2⁴⁸ (más de 218 billones) de DS18B20 conectados en una misma red 1-Wire, además de otros tantos dispositivos de otras familias (2²⁸, unos 268 millones de familias de dispositivos posibles). A efectos prácticos, esto supone disponer de infinitos dispositivos.

En este sentido, para el sistema que fue construido en el Taller de Instrumentos de la Facultad de Química de la Universidad de la República (Figura 2), los 9 sensores con los que se trabaja están conectados a los mismos terminales de la tarjeta y son identificados por este número característico.

La adquisición de datos de los 9 sensores se realiza cada 60 segundos, intervalo más que suficiente para el tiempo de respuesta de conversión de temperatura más exigente de cada sensor (750 ms en 12 bits, resolución 0.0625 °C). Los parámetros de estabilidad y homogeneidad o uniformidad se toman con un mínimo de 10 valores (en el caso en que sea necesario medir a varias temperaturas de la escala) y un máximo de 8 horas

(cuando las mediciones se realizan a una temperatura fija) del medio a caracterizar. Estos tiempos se comienzan a contar a partir de la estabilización de la temperatura en el medio a caracterizar. Los valores de aceptación se toman del manual del medio, según el fabricante o en base a criterios previamente establecidos y consensuados.

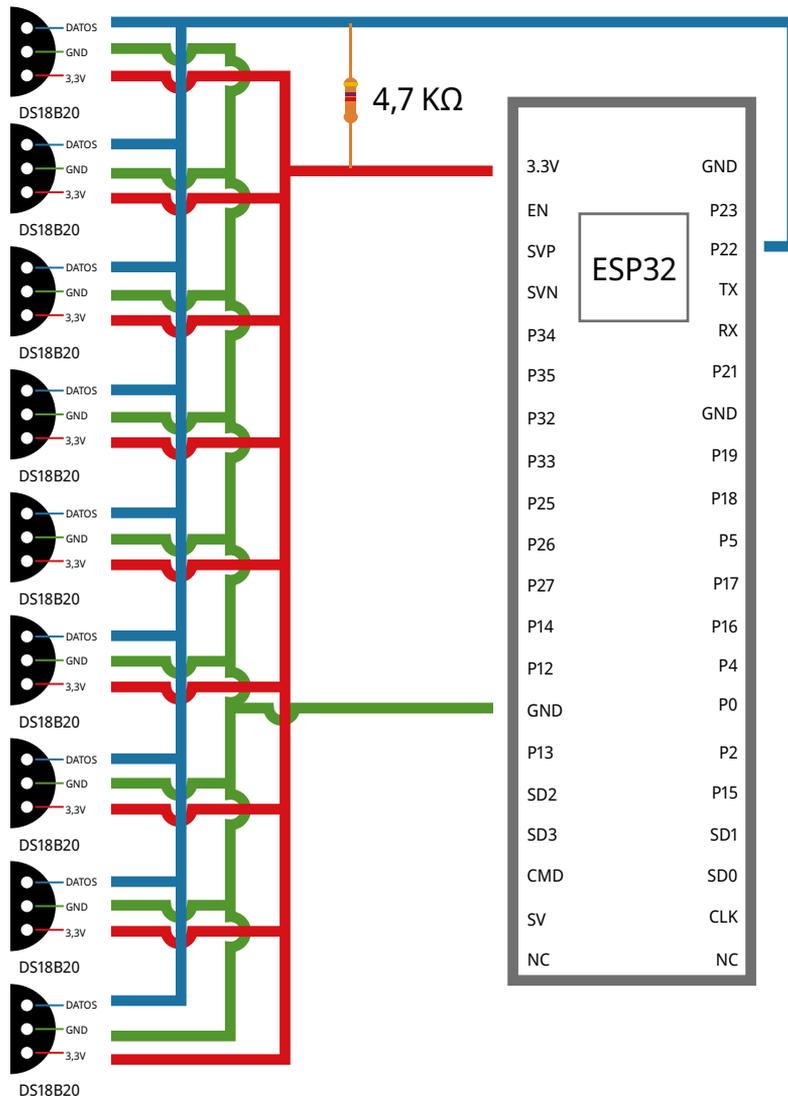


FIGURA 2. Conexiones eléctricas entre los sensores DS18B20 y la placa ESP32.

La placa de microcontrolador utilizada en este trabajo es un modelo de desarrollo de ESP32. El chip ESP32 se está volviendo cada vez más popular en el entorno de desarrollo Arduino (IDE, Integrated development environment). Tratándose de un procesador de 32 bits, es una placa potente con muy buen soporte. Entre otras prestaciones, puede comunicarse vía Wi-Fi y Bluetooth ya que estos módulos vienen incluidos en la placa por defecto. De este modo, los datos de los sensores pueden ser enviados por internet a un servidor Mosquito de la Unidad Académica de Informática Química (Facultad de

Química-Universidad de la República). El valor de cada sensor se envía como un tópicos en el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) (Wankhede y Gaikwad, 2021). El MQTT es un protocolo de mensajería sencillo y ligero. De hecho, su mecanismo de publicación/suscripción está diseñado para que no sea difícil de ejecutar (Shao et al., 2018).

En resumen, para programar la placa ESP32 se usó el entorno de programación de Arduino IDE (Arduino, 2011). El código ha sido desarrollado para permitir la conexión del dispositivo a una red Wi-Fi del entorno, la conexión al servidor MQTT, la lectura de los sensores cada 60 segundos y el envío de los datos al servidor.

El paquete Node-RED (OpenJS Foundation & Contributors, 2012), que corre en otro servidor de la Facultad de Química, fue el encargado de almacenar los datos en una base de datos SQLite (Hipp, Wyrick & Company, Inc, 2000) y en enviar los valores a un *dashboard* en la nube. De esta forma, es posible realizar un monitoreo de los valores en tiempo real en cualquier computadora o teléfono celular (Figura 3).

La placa se alimenta a través de un puerto micro USB, utilizando un cargador de 230 V a 5 V, 2,5 A.

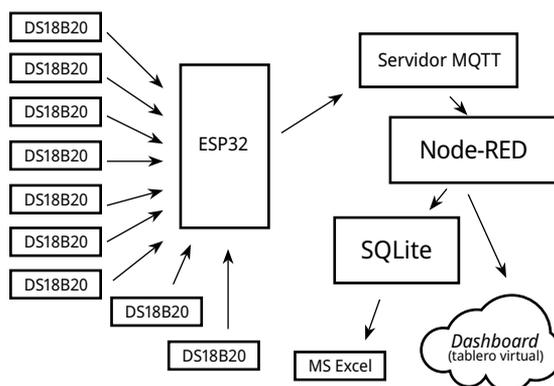


FIGURA 3. Flujo de la telemetría.

En la metodología diseñada, la herramienta de programación visual Node-RED (OpenJS Foundation & Contributors, 2012) (Figura 4), a través del nodo *mqtt in*, toma los 9 valores de temperatura y los envía por separado a un *dashboard* gratuito (Cayenne) utilizando el nodo *cayenne sensor*. El *dashboard* puede observarse en cualquier navegador web (Figura 5). Al mismo tiempo, se utiliza el nodo *join* para combinar los múltiples mensajes que llegan desde cada sensor en un único mensaje que contiene la fecha y hora junto a los valores de cada sensor. Así, el mensaje con las temperaturas y el tiempo puede almacenarse en la base de datos a través de una función y el nodo *sqlite*. Los valores almacenados en la base de datos pueden ser descargados en múltiples formatos (por ejemplo, csv) y pueden importarse con MS Excel. Con la hoja de cálculo se realizó el tratamiento estadístico y el cálculo de incertidumbres para informar los resultados.

Cálculos

A continuación, se presenta un resumen de los cálculos utilizados, ya que un enfoque más detallado escapa al objetivo de este trabajo.

Estabilidad:

Para cada punto de ensayo (j) se calcula la estabilidad y se toma el valor máximo.

$$e_{medio} = \text{máx} (|\text{máx} (x_{ij}) - \text{mín} (x_{ij})|) / 2$$

Uniformidad u homogeneidad:

Se trabaja con la media de los valores tomados en cada uno de los patrones.

$$un_{medio} = |\text{máx} (\bar{x}_j) - \text{mín} (\bar{x}_j)| / 2$$

Cálculo de incertidumbres

Estabilidad:

$$u^2 (\delta x_e) = u^2_{res} + \left(\frac{e_{medio} / 2}{\sqrt{3}} \right)^2$$

Uniformidad:

$$u^2 (\delta x_{un}) = u^2_{temp.media} + \left(\frac{un_{medio} / 2}{\sqrt{3}} \right)^2$$

Donde:

$u^2_{temp.media}$ es la incertidumbre típica debida al cálculo de la temperatura media.

u^2_{res} es la incertidumbre típica debida a la resolución del termómetro patrón.

Ambas componentes deben ser expandidas por el factor de cobertura $k = 2$.

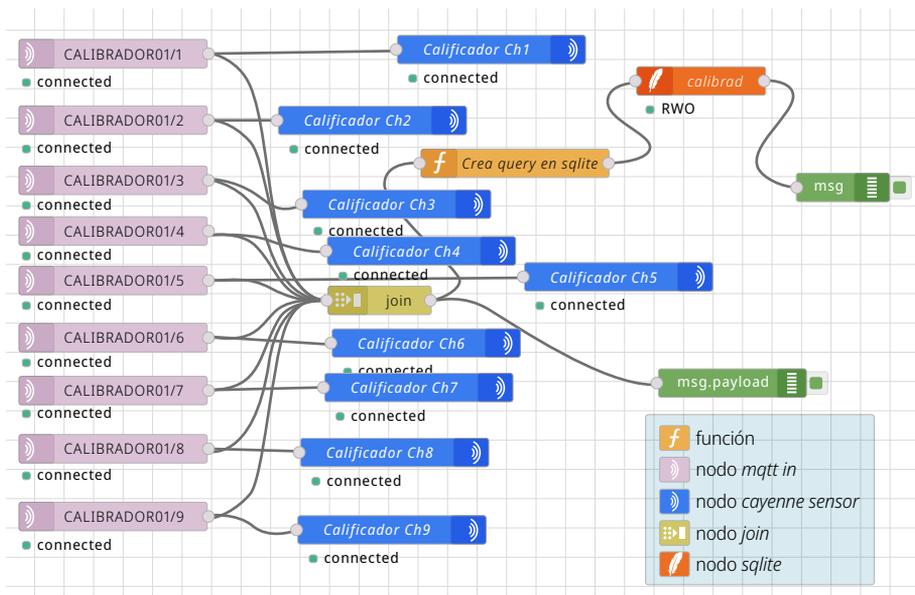


FIGURA 4. Flujo de Node-RED utilizado.

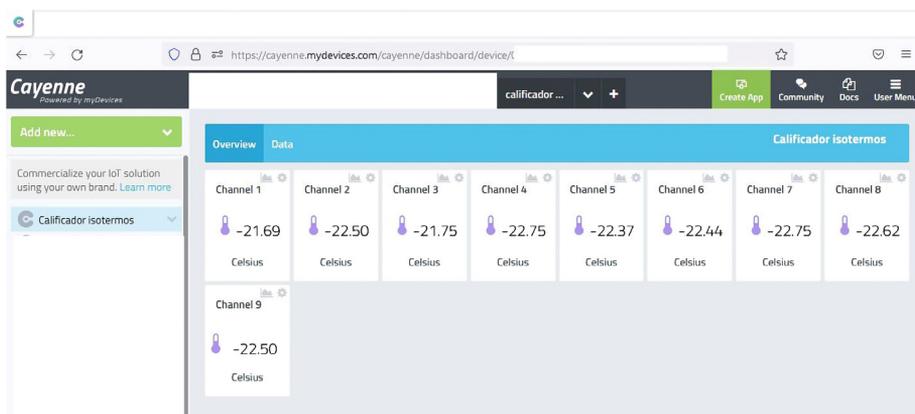


FIGURA 5. Visualización de datos en la web de Cayenne.

Cálculo de costos

El costo de los materiales del calificador se muestra en la siguiente Tabla 2.

TABLA 2. Desarrollo de costos del dispositivo (precios año 2020, en plaza).

Componente	Cantidad	Costo individual (USD)	Costo (USD)
Tarjeta ESP32	1	28	28
Sensor DS18B20	9	5	45
Resistencia 4,7 kΩ	1	<1	<1
Tarjeta prototipo de cobre	1	1	1
Caja registro estanco	1	7	7
Cargador	1	18	18
Adaptador para cargador	1	5	5
Calibración	1	379	379

Luego de finalizada su construcción y superadas las etapas de prueba, el equipo fue calibrado en un laboratorio acreditado en la magnitud temperatura (ServiMET, Uruguay). La calibración se realizó en el rango de temperaturas entre -20 °C y 120 °C. Las incertidumbres expandidas obtenidas estuvieron entre un máximo de 0.30 °C a -20°C y un mínimo de 0.13 °C entre 0 °C y 100 °C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema desarrollado ha demostrado ser apropiado para caracterizar distintos medios isotermos. En cuanto al diseño, los resultados obtenidos de la calibración de las sondas DS18B20 en un laboratorio acreditado en temperatura muestran incertidumbres para el

intervalo 0-100 °C de 0.13 °C. Este dato, junto a la resolución a la que están configuradas (0.0625 °C) las sondas, permite llevar a cabo la mayoría de las caracterizaciones necesarias en los medios isotermos para los que el instrumento fue concebido. Si bien no llegan a los valores de resolución e incertidumbre de termopares o termorresistencias (estos últimos son por lo menos un orden menor a las DS18B20), son más que suficiente para las aplicaciones en laboratorios universitarios.

Para evaluar el desempeño en campo, en la Tabla 3 se adjuntan algunos ejemplos representativos de diferentes caracterizaciones llevadas a cabo. El ejemplo 1 corresponde a una cámara climática de punto consigna 40.0 °C. El ejemplo 2 corresponde a otra cámara climática, esta vez fijada a 25.0 °C. El ejemplo 3, a un horno operando a 105.0 °C. El ejemplo 4, a un refrigerador cuya temperatura consigna es de 5 °C. Los 4 ejemplos cubren un amplio rango de temperaturas y modos de funcionamiento (calefacción y refrigeración), lo cual permite apreciar la versatilidad del calificador y su comportamiento en el rango.

TABLA 3. Ejemplos de desempeño del instrumento en la vida real.

Ejemplo 1		Promedio mínimo	39.72 °C	Sensor 7		
		Promedio máximo	40.16 °C	Sensor 3		
Sensor N°	ID	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Promedio (°C)	Delta (°C)	
1	28D681373819015B	39.92	40.04	39.98	0.12	
2	28CB183B3819011C	40.02	40.08	40.05	0.06	
3	2893F428381901D8	40.15	40.21	40.16	0.06	
4	28FFB6A301170371	40.15	40.21	40.15	0.06	
5	28FF916F8114029A	40.02	40.15	40.08	0.13	
6	28D3BC31381901D1	39.85	39.92	39.90	0.07	
7	28FF29C724170396	39.72	39.78	39.72	0.06	
8	282A8200381901D4	39.90	39.96	39.96	0.06	
9	286DE21D38190190	39.71	39.77	39.77	0.06	
Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre (°C)				
Estabilidad	0.07	0.04				
Homogeneidad	0.22	0.14				
Corrección temperatura	0.1	0.3				

Ejemplo 2		Promedio mínimo	23.8 °C	Sensor 7		
		Promedio máximo	24.9 °C	Sensor 3		
Sensor N°	ID	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Promedio (°C)	Delta (°C)	
1	28D681373819015B	24.48	24.60	24.54	0.12	
2	28CB183B3819011C	24.70	24.83	24.77	0.13	
3	2893F428381901D8	24.83	24.96	24.90	0.13	
4	28FFB6A301170371	24.77	24.89	24.83	0.12	
5	28FF916F8114029A	24.25	24.58	24.31	0.33	
6	28D3BC31381901D1	24.66	24.73	24.71	0.07	
7	28FF29C724170396	23.72	23.84	23.80	0.12	
8	282A8200381901D4	24.52	24.71	24.62	0.19	
9	286DE21D38190190	24.46	24.46	24.46	0.00	
Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre (°C)				
Estabilidad	0.17	0.10				
Homogeneidad	0.55	0.33				
Corrección temperatura	-0.3	0.7				

Ejemplo 3		Promedio mínimo	102.13 °C	Sensor 1		
		Promedio máximo	104.36 °C	Sensor 2		
Sensor N°	ID	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Promedio (°C)	Delta (°C)	
1	28D681373819015B	101.90	102.27	102.13	0.37	
2	28CB183B3819011C	104.23	104.48	104.36	0.25	
3	2893F428381901D8	102.69	103.06	102.81	0.37	
4	28FFB6A301170371	102.24	102.92	102.37	0.69	
5	28FF916F8114029A	103.67	103.92	103.79	0.25	
6	28D3BC31381901D1	103.92	104.23	104.06	0.31	
7	28FF29C724170396	103.36	103.67	103.47	0.31	
8	282A8200381901D4	102.41	103.16	102.70	0.75	
9	286DE21D38190190	102.86	103.86	103.11	1.00	
Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre (°C)				
Estabilidad	0.50	0.29				
Homogeneidad	1.12	0.65				
Corrección temperatura	-1.9	1.4				

Ejemplo 4		Promedio mínimo	2.83 °C	Sensor 3		
		Promedio máximo	6.13 °C	Sensor 8		
Sensor N°	ID	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Promedio (°C)	Delta (°C)	
1	28D681373819015B	3.50	4.31	3.87	0.81	
2	28CB183B3819011C	4.44	5.31	4.91	0.87	
3	2893F428381901D8	2.25	3.44	2.83	1.19	
4	28FFB6A301170371	2.69	3.69	3.18	1.00	
5	28FF916F8114029A	4.88	5.38	5.12	0.50	
6	28D3BC31381901D1	5.38	6.13	5.75	0.75	
7	28FF29C724170396	5.19	5.88	5.52	0.69	
8	282A8200381901D4	5.81	6.44	6.13	0.63	
9	286DE21D38190190	4.75	5.44	5.10	0.69	
Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre (°C)				
Estabilidad	0.59	0.34				
Homogeneidad	1.65	0.96				
Corrección temperatura	-1	2				

Como se puede apreciar en estos ejemplos, el dispositivo permitió caracterizar medios de variadas características en distintas condiciones de temperatura. Fue capaz de detectar las importantes variaciones de temperatura en los ejemplos 3 y 4, lo cual se refleja en el alto valor de homogeneidad. A su vez, se pudo evidenciar la distinta estabilidad de los medios 3 y 4 respecto a los 1 y 2, lo cual no es casual ya que el refrigerador es un modelo comercial, el horno de laboratorio del ejemplo 3 es de una marca de tercer orden, mientras que los ejemplos 1 y 2 son cámaras industriales de una marca de primera línea. Las incertidumbres alcanzadas (fuertemente relacionadas con las propiedades del medio a caracterizar) llegaron a ser considerablemente bajas (estabilidad, 0.04 °C; homogeneidad, 0.14 °C), reflejándose también en ellas el comportamiento de los medios caracterizados. Con equipos con una buena homogeneidad y estabilidad, se obtienen bajas incertidumbres. El instrumento responde adecuada y coherentemente al medio que está caracterizando.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede afirmar que las prestaciones del caracterizador de medios diseñado y construido en el Taller de Instrumentos de la

Facultad de Química de la Universidad de la República son adecuadas para garantizar la trazabilidad y la calidad metrológica de los distintos medios que se utilizan en los laboratorios. Esto permite asegurar la calidad de los resultados analíticos en los que intervenga. La herramienta ha resultado eficiente y económica, y constituye una aplicación novedosa de las placas programadas en el entorno de Arduino.

REFERENCIAS

- Arduino, 2011. *Integrated development environment "IDE" for Arduino* [En línea]. Vers. 1.8.57.00. [s.l.]: Arduino. [Consulta: 25 de enero de 2023].
Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/software>
- EURAMET, 2017. *Calibration Guide No. 20*. Vers. 5.0 [En línea]. Braunschweig: EURAMET. [Consulta: 31 de enero de 2023]. Disponible en: <https://www.euramet.org/publications-media-centre/calibration-guidelines>
- Hipp, Wyrick & Company, Inc., 2000. *SQLite* [En línea]. Vers 3.34.1. [s.l.]: Hipp, Wyrick & Company, Inc. [Consulta: 31 de enero de 2023]. Disponible en: www.sqlite.org/src
- OpenJS Foundation & Contributors, 2012. *Node-Red* [En línea]. Vers. 2.1.3. [s.l.]: OpenJS c & Contributors. [Consulta: 25 de enero de 2023]. Disponible en: <https://nodered.org>
- Shao, Zhen-tang; Huang, Meng-Xing; Wu, Di, Zhang, Xu y Huang, Ao, 2018. Design of a simplified wireless sensor network node based on MQTT Protocol. En: *DEStech Transactions on Computer Science and Engineering*. Dic. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.10540>
- U.S. Food and Drug Administration, 2023. *CFR - Code of Federal Regulations Title 21* [En línea]. Washington: FDA. [Consulta: 26 de enero].
Disponible en: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm>
- Utmel Electronic, 2019. *DS18B20 Programmable resolution 1-wire digital thermometer* [En línea]. Quebec: Utmel Electronic. [Consulta: 31 de enero de 2023]. Disponible en: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20-par.pdf>
- Wankhede, A. y Gaikwad, S.P., 2021. 4 Channel concrete temperature data acquisition system using GPRS data network. En: *Indian J. Sci. Technol.*, 14(18), pp. 1516-1524.
DOI: <https://doi.org/10.17485/IJST/v14i18.296>

Links relacionados

Cayenne: disponible en cayenne.mydevices.com