Efecto de la temperatura del baño de hielo en la calibración de sondas USDA

Nota técnica · 2 de octubre de 2026
Javier Casal

1. Importancia de la referencia de 0,00 °C

La exactitud de la temperatura de referencia del baño de hielo es crítica al evaluar y calibrar sondas de temperatura USDA.

Durante la calibración en baño de hielo, el controlador trabaja bajo el supuesto de que las sondas están expuestas a una referencia válida de **0,00 °C**. El controlador no tiene forma independiente de saber si el baño realmente está a 0,00 °C; depende de que la condición de referencia esté correctamente establecida.

Si la temperatura real del baño difiere de 0,00 °C y ese desvío no se identifica de forma independiente, el error del baño pasa a formar parte de la lectura observada de la sonda.

Esto puede producir dos consecuencias distintas:

1. Una sonda que en realidad está dentro de la ventana de aceptación del controlador puede ser rechazada, o una sonda fuera de la ventana puede parecer aceptable.

2. Una sonda calibrada con éxito puede recibir un offset incorrecto, porque el error del baño de referencia puede incorporarse a la calibración.

> **La aceptación de la sonda y la exactitud de la calibración son cuestiones distintas.**

2. Fuentes de desvío del baño de hielo

Un baño de punto de hielo correctamente preparado y mantenido ofrece una referencia de temperatura muy reproducible, cercana a **0,00 °C**.

Sin embargo, un baño mal preparado o mal mantenido puede presentar gradientes de temperatura o desvíos locales respecto del punto de hielo.

- Exceso de agua líquida, en especial alrededor o por debajo de las puntas de las sondas.
- Poco hielo en relación con la cantidad de agua.
- Estabilización insuficiente antes de tomar las mediciones.
- Mala ubicación de las sondas o del termómetro de referencia.
- Contacto con las paredes o el fondo del recipiente.
- Equilibrio térmico insuficiente o mezcla inadecuada.
- Contaminación del hielo o del agua con sustancias disueltas, que pueden bajar el punto de congelación.

El hielo recién sacado del congelador puede estar inicialmente muy por debajo de 0 °C. Eso no significa que un equilibrio hielo-agua bien establecido vaya a quedar por debajo de 0 °C, pero se necesita tiempo suficiente y una preparación correcta para lograr una referencia de punto de hielo estable antes de calibrar.

Los ejemplos siguientes usan, por simplicidad, una temperatura real del baño de **+0,15 °C**. El mismo principio se aplica, con el signo correspondiente, cuando la referencia está por debajo de 0,00 °C.

3. Rechazo o aceptación de sondas por una referencia incorrecta

Un baño de referencia incorrecto o no verificado puede hacer que el controlador rechace una sonda que, a 0,00 °C reales, estaría dentro de su rango de calibración permitido.

Solo a modo de ejemplo, supongamos una ventana de aceptación de calibración del controlador de **±0,30 °C**. El criterio real depende del controlador, del software y del procedimiento, y debe verificarse con la documentación del fabricante y los requisitos regulatorios aplicables.

Consideremos una sonda con un offset real de +0,20 °C a 0,00 °C reales. Esta sonda estaría dentro de la ventana hipotética de ±0,30 °C.

Pero si la temperatura real del baño fuera +0,15 °C, el controlador podría observar aproximadamente:

> +0,20 °C offset de la sonda + 0,15 °C desvío del baño = +0,35 °C indicado

El controlador podría entonces rechazar la sonda aunque su offset real, a una referencia verdadera de 0,00 °C, sea solo de +0,20 °C.

También es posible el efecto contrario

Consideremos una sonda con un offset real de +0,40 °C, fuera de la ventana hipotética de ±0,30 °C.

Si la temperatura real del baño fuera −0,15 °C, el controlador podría observar aproximadamente:

> +0,40 °C offset de la sonda − 0,15 °C desvío del baño = +0,25 °C indicado

El controlador podría entonces aceptar una sonda que habría sido rechazada con una referencia verdadera de 0,00 °C.

Por lo tanto, una indicación de +0,30 °C o +0,40 °C en un baño de hielo no puede interpretarse por sí sola como un error de la sonda de +0,30 °C o +0,40 °C, **salvo que se conozca y documente la temperatura real de referencia** en el momento de la medición.

4. Efecto sobre el offset de calibración de las sondas aceptadas

En las sondas que quedan dentro de la ventana de aceptación del controlador, el error del baño de referencia puede incorporarse al offset de calibración almacenado.

Esta es potencialmente la consecuencia más importante, porque el offset resultante puede afectar después las lecturas de temperatura durante el tratamiento en frío.

El controlador determina la corrección individual de cada sonda suponiendo que la referencia está a 0,00 °C.

El controlador puede hacer su cálculo correctamente. Pero si la referencia es incorrecta, la corrección resultante no representa necesariamente solo el offset real de la sonda: también puede contener el error del baño de referencia.

Ejemplo

Consideremos una sonda cuyo error real a 0,00 °C es 0,00 °C. La sonda, por lo tanto, indica la temperatura correctamente.

Coloquemos ahora esta sonda en un baño que en realidad está a +0,15 °C.

Si el controlador supone que el baño está a 0,00 °C, puede interpretar los +0,15 °C observados como un error de la sonda y aplicar la corrección correspondiente.

Sin embargo, el desvío de +0,15 °C se originó en el baño de referencia, no en la sonda.

Como resultado, puede incorporarse una corrección innecesaria al offset de calibración almacenado.

Este principio se aplica tanto si el offset inicial real de la sonda es positivo, negativo o nulo. Cada sonda puede recibir un offset individual distinto, pero un error en el baño de referencia común puede afectar todas las calibraciones hechas con esa referencia.

5. Efecto sobre las mediciones posteriores del tratamiento en frío

Una vez establecido el offset de calibración, el controlador aplica la corrección correspondiente a las lecturas posteriores de la sonda durante el tratamiento en frío. Por lo tanto, un error introducido durante la calibración puede producir una temperatura indicada distinta de la temperatura real de la pulpa de la fruta.

Parámetro	Valor
Baño real durante la calibración	+0,15 °C
Supuesto del controlador	0,00 °C
Error real de la sonda	0,00 °C
Corrección innecesaria posible	aproximadamente −0,15 °C

Si más tarde la temperatura real de la pulpa llega a **+1,00 °C**, el sistema podría indicar aproximadamente **+0,85 °C**, según el algoritmo de calibración real del controlador, su resolución interna, la cuantización del offset y las reglas de redondeo.

Una calibración aceptada y completada con éxito por el controlador no es necesariamente una calibración exacta si la referencia de temperatura utilizada era incorrecta.

El controlador puede calcular correctamente una corrección con la información de que dispone, pero no puede determinar por sí mismo si **la referencia supuesta de 0,00 °C es correcta**.

6. Resolución y redondeo del controlador

No debe suponerse que la resolución mostrada y la resolución interna de medición son iguales.

Por ejemplo, si un controlador mide internamente con mayor resolución pero muestra el resultado redondeado al **0,1 °C** más cercano, el redondeo de pantalla por sí solo podría producir una diferencia de hasta aproximadamente **±0,05 °C** entre el valor interno y el mostrado.

Esta cifra de ±0,05 °C solo se aplica cuando el controlador realmente redondea al 0,1 °C más cercano. Otros controladores pueden usar otras resoluciones internas, pasos de cuantización, métodos de truncamiento o algoritmos de visualización.

Por eso, un valor mostrado cercano a un límite de aceptación debe interpretarse con cuidado.

Cuando un resultado de calibración está en discusión, lo ideal es establecer lo siguiente a partir de la documentación del fabricante del controlador:

- Resolución interna de medición.
- Resolución de pantalla.
- Resolución o cuantización del offset.
- Método de redondeo o truncamiento.
- Criterio exacto de aceptación de la calibración.

7. Termómetro de referencia y procedimiento del baño de hielo

La condición real de referencia debe verificarse con un termómetro calibrado adecuado, cuya incertidumbre de medición sea pequeña en relación con los límites de aceptación que se evalúan.

Para una verificación técnica de alta calidad de la calibración de sondas USDA, la capacidad de medición recomendada incluye:

- **Resolución:** 0,01 °C o mejor.

- **Incertidumbre expandida a 0 °C:** aproximadamente ±0,05 °C o mejor.
- **Calibración:** vigente y trazable a un patrón metrológico nacional o internacionalmente reconocido.

Estos valores son capacidades de medición recomendadas y **no** deben interpretarse como requisitos regulatorios universales del USDA.

Práctica recomendada para el baño de hielo

Una referencia de punto de hielo de alta calidad debe prepararse y mantenerse según prácticas metrológicas reconocidas, como las descritas en **ASTM E563-22**, *Standard Practice for Preparation and Use of an Ice-Point Bath as a Reference Temperature*.

1. Use hielo limpio y finamente dividido, hecho con agua destilada o desionizada.
2. Use agua limpia de la misma calidad para llenar los espacios entre las partículas de hielo, sin crear una capa importante de agua libre.
3. Deje el tiempo suficiente para que se establezca el equilibrio térmico antes de medir.
4. Mantenga una mezcla densa de hielo y agua alrededor de la zona de medición.
5. Ubique las sondas USDA y el termómetro de referencia con una profundidad de inmersión adecuada.
6. Ubique el termómetro de referencia cerca de las puntas de las sondas USDA, para que ambos midan prácticamente el mismo entorno térmico.
7. Evite el contacto de los elementos sensores con las paredes o el fondo del recipiente.
8. Verifique que la temperatura de referencia sea estable antes de registrar lecturas o iniciar la calibración.
9. Durante ensayos prolongados, mantenga la mezcla de hielo y agua y retire el exceso de agua si es necesario.

El objetivo no es solo colocar las sondas en un recipiente con hielo y agua.

El objetivo es establecer y mantener una condición de referencia válida y conocida de 0,00 °C en la ubicación de los elementos sensores de las sondas.

8. Registro mínimo de calibración

Cada calibración debe documentarse lo suficiente como para poder distinguir después si un desvío se debe a la sonda, al baño de referencia o al controlador. Se recomienda registrar:

Campo	Qué registrar
Fecha y hora	Inicio y fin de la calibración
Lugar y operador	Lugar del ensayo, identificación del contenedor y persona que calibra
Controlador	Fabricante, modelo, número de serie y versión de software/firmware
Termómetro de referencia	Fabricante, modelo, número de serie, identificación del certificado de calibración y fecha de vencimiento
Temperatura de referencia	Lectura real del termómetro de referencia durante las mediciones
Identificación y lecturas	Identificación y temperatura indicada de cada sonda USDA antes de calibrar
Resultado de la calibración	Aceptada o rechazada para cada sonda y, si está disponible, el offset determinado o guardado por el controlador
Preparación del baño	Tipo de agua y hielo, método de preparación y tiempo de estabilización

Esta información permite determinar después si una discrepancia observada se originó en la sonda, en el controlador o en la referencia de temperatura.

Conclusión

La aceptación de la sonda y la exactitud de la calibración son cuestiones distintas.

La ventana de aceptación de calibración del controlador determina si el procedimiento de calibración puede continuar.

La exactitud de la referencia de 0,00 °C determina si la calibración resultante es válida.

Por lo tanto, una referencia de baño de hielo incorrecta o no verificada puede producir dos efectos distintos:

1. **Error de aceptación/rechazo:** puede hacer que se rechace una sonda que en realidad está dentro del rango de calibración permitido o, según el sentido del error del baño, ocultar el error de una sonda que estaría fuera de ese rango.

2. **Error de calibración:** en las sondas calibradas con éxito, el error del baño de referencia puede incorporarse al offset de calibración almacenado y afectar después la temperatura de pulpa indicada durante el tratamiento en frío.

Por eso, antes de atribuir por completo un desvío de temperatura observado a una sonda USDA, la temperatura real de referencia en el momento del ensayo debe medirse de forma independiente con un termómetro de referencia calibrado adecuado y documentarse.

Principio clave

> **El controlador puede corregir el offset de una sonda, pero no puede corregir un error desconocido de la referencia de temperatura usada para determinar ese offset.**

Nota técnica destinada a orientación general de ingeniería y metrología. Los criterios de calibración específicos de cada controlador deben verificarse siempre con la documentación del fabricante y los requisitos regulatorios vigentes.