

ANEXO TÉCNICO

Sensores T HR para CAVETEM ITC

Análisis comparativo y criterios de selección para el ITC-CAVETEM

Documento vinculado: Artículo "Índice de Tendencia de Condensación (ITC) para equipos CAVETEM IoT System en cavidades con humedad extrema". Este anexo no reescribe el artículo; documenta las familias de sensores T/HR aplicables a cuevas, sus limitaciones en saturación persistente y la justificación técnica del empleo de Sensirion SHT4x en CAVETEM.

Campo	Contenido
Autor / sistema	Andrés Ros Vivancos - CAVETEM IoT System
Tipo de documento	Anexo técnico / datasheet de sensores T/HR
Versión del anexo	v2.1 - 10/05/2026
Documento de origen	Anexo_tecnico_sensores_T_HR_CAVETEM_ITC_v2.docx
Referencia de uso	Documento de apoyo para el artículo ITC-CAVETEM y para la justificación técnica del sensor SHT4x.
Uso previsto	Documentación técnica, memoria de desarrollo, trazabilidad científica y apoyo a la selección instrumental en cavidades con humedad extrema.

Resumen técnico

La monitorización higrotérmica de cuevas exige seleccionar sensores capaces de registrar series continuas en ambientes de elevada humedad, baja amplitud térmica y posible condensación. La literatura sobre microclima subterráneo muestra que la humedad relativa puede permanecer próxima al 100 % durante periodos prolongados, especialmente en sectores profundos, húmedos o con bajo intercambio de aire (Cigna, 2002; Mejía-Ortíz et al., 2021; Středová et al., s.f.).

Este anexo compara las principales tecnologías de medida de temperatura y humedad empleadas o aplicables a cuevas: Pt100/RTD, termistores, sensores digitales integrados, termopares, sensores infrarrojos, sensores capacitivos de HR, sondas de punto de rocío, psicrómetros y evaporímetros. Se analiza su comportamiento en saturación persistente y su utilidad para el ITC-CAVETEM.

La elección del Sensirion SHT4x en CAVETEM se justifica por su integración digital, bajo consumo, medición conjunta de temperatura y humedad, disponibilidad de heater interno y documentación específica para alta humedad. No se presenta como un sensor inmune a la saturación; se reconoce que los sensores capacitivos de HR pueden perder capacidad discriminante cuando permanecen largos periodos cerca del 100 %. Por ello, el ITC-CAVETEM combina HR, temperatura, punto de rocío, gap T-DP, CO₂, presión, relación de humedad y persistencia temporal para interpretar atmósferas saturadas sin recurrir a humedades relativas físicamente imposibles (Sensirion, 2022, 2024, 2025).

Palabras clave: cuevas; humedad relativa; sensores capacitivos; Pt100; SHT4x; punto de rocío; condensación; ITC-CAVETEM.

Índice del anexo

1. Introducción: el problema técnico de la saturación persistente
2. Sensores de temperatura aplicables a cuevas
3. Sensores de humedad y condensación
4. Equipos y sensores documentados en estudios de cuevas
5. Notas de fabricante y lectura técnica de la saturación
6. Criterio de selección para una red CAVETEM
7. Sensores SHT4x en CAVETEM
8. Relación de variables con el ITC-CAVETEM
9. Conclusiones
10. Referencias bibliográficas y documentación técnica

1. Introducción: el problema técnico de la saturación persistente

En una cavidad húmeda, el valor 100 % HR puede representar simultáneamente una condición ambiental real y un límite operativo del sensor. Esta situación es frecuente en cuevas con paredes húmedas, baja ventilación o alta estabilidad térmica, donde la humedad relativa permanece muy próxima a la saturación durante horas, días o incluso periodos más largos (Cigna, 2002; Mejía-Ortíz et al., 2021).

El problema no se limita a “medir humedad”. En el entorno del 100 % HR, la interpretación ambiental depende de distinguir si la masa de aire está estable, si se aproxima al punto de rocío, si aumenta el CO₂ por confinamiento, si se produce renovación atmosférica o si cambia la presión barométrica. Por esta razón, la HR debe interpretarse junto con temperatura, punto de rocío, presión, CO₂ y persistencia temporal (Badino, 2010; Sainz et al., 2026).

Los fabricantes de dataloggers y sensores de humedad reconocen que las condiciones condensantes o de saturación persistente pueden afectar a la precisión, la deriva o la respuesta del elemento sensible. HOBO advierte que, mientras el sensor de HR está saturado, no se obtienen lecturas precisas, y que la saturación repetida en ambientes condensantes puede producir deriva irreversible (Onset Computer Corporation, s.f.). Tinytag emplea sensores capacitivos de HR en modelos robustos para monitorización ambiental, pero su rango operativo sigue siendo 0-100 % HR y la robustez frente a humedad no equivale a resolución indefinida en saturación prolongada (Gemini Data Loggers, s.f.). Sensirion documenta el comportamiento de sus sensores SHT4x en alta humedad, el uso del heater y la mitigación del creep, reconociendo que la HR fuera del rango 0-100 % no debe tratarse como valor físico (Sensirion, 2022, 2024, 2025).

En este marco, el SHT4x se selecciona para CAVETEM no porque elimine el problema de saturación persistente, sino porque ofrece una base robusta y digital para una red IoT distribuida. La clave metodológica es que, cuando la HR deja de discriminar, el sistema conserva capacidad interpretativa mediante la temperatura, el punto de rocío, el gap T-DP, el CO₂, la presión atmosférica y la relación de humedad. Esta lógica constituye la base del ITC-CAVETEM.

Criterio técnico central: La saturación persistente no debe tratarse automáticamente como fallo. Es un estado ambiental que exige lectura multivariable: HR como umbral; temperatura, punto de rocío, CO₂, presión y persistencia como dinámica.

2. Sensores de temperatura aplicables a cuevas

La temperatura es una variable fundamental en microclima subterráneo porque controla la presión de vapor de saturación, la densidad del aire y parte de los procesos de ventilación. En cuevas patrimoniales se emplean sensores de alta precisión como Pt100, mientras que los dataloggers comerciales suelen integrar termistores o sensores digitales compactos (Štředová et al., s.f.; Sainz et al., 2026).

Tabla 1. Familias de sensores de temperatura y utilidad para cuevas e ITC-CAVETEM.

Tecnología	Principio	Uso documentado o aplicable en cuevas	Comportamiento en saturación	Valor para ITC-CAVETEM
Pt100 / RTD	Resistencia de platino; variación estable con la temperatura.	Alta precisión en cuevas patrimoniales; aire, roca, suelo o agua. En Altamira se emplean Pt100 para T del aire con resolución de 0,01 °C y precisión ±0,06 °C (Sainz et al., 2026).	Sigue midiendo temperatura aunque la HR esté en saturación, porque su principio de medida no depende del vapor de agua.	Excelente para tendencia térmica y validación de microvariaciones; no mide HR ni condensación por sí solo.
Termistor NTC	Resistencia semiconductor con coeficiente térmico negativo.	Frecuente en dataloggers autónomos como Tinytag o equipos compactos de campo (Gemini Data Loggers, s.f.).	Puede seguir midiendo T si está protegido; la saturación afecta más al conjunto sensor-carcasa que al principio resistivo.	Adecuado para series largas; menor linealidad y mayor dependencia de calibración que Pt100.
Sensor digital integrado T/HR	Transductor integrado con salida digital y compensación interna.	Sensores SHTxx/SHT4x, DHT y similares en redes IoT de bajo consumo (Gazis et al., 2025).	La lectura de T sigue aportando cambios aunque la HR quede en 100 %.	Muy útil para CAVETEM por bajo consumo e integración I ² C; la HR requiere interpretación complementaria.
Termopar	Tensión termoeléctrica entre dos metales.	Uso industrial o puntual; menos habitual en microclima fino de cuevas.	Robusto, pero menos adecuado para décimas/centésimas.	Amplio rango y bajo coste; menor interés para ITC fino.
IR / cámara térmica	Radiación infrarroja emitida por superficies.	Temperatura superficial de roca, paredes y espeleotemas; útil en estudios térmicos de superficie (Štředová et al., s.f.).	Puede verse afectado por agua superficial, emisividad, distancia y geometría.	Muy útil para contrastar riesgo de condensación si T superficial < DP.

3. Sensores de humedad y condensación

La humedad relativa es la variable más problemática en cuevas saturadas. Cigna (2002) distingue entre sensores capacitivos y sondas de punto de rocío, señalando que los capacitivos pueden dar resultados problemáticos cerca del 100 % por condensación sobre el sensor, mientras que las sondas de punto de rocío son más adecuadas, pero mucho más costosas. Středová et al. (s.f.) también advierten que por encima del 95 % HR la precisión de muchos métodos disminuye.

Tabla 2. Familias de sensores de humedad/condensación y comportamiento en atmósferas saturadas.

Tecnología	Principio	Uso en cuevas	En saturación persistente	Ventaja	Limitación / uso ITC
Capacitivo polimérico	El vapor modifica la capacitancia de una capa sensible.	HOBO, Tinytag, Sensirion SHTxx/SHT4x; opción común en redes T/HR (Cigna, 2002; Gazis et al., 2025).	Puede quedar en 100 % o perder resolución por saturación, condensación, histéresis o deriva.	Bajo consumo, compacto, digitalizable e integrable en IoT.	Base de HR; requiere ITC y variables complementarias.
Resistivo de HR	El vapor modifica la resistencia de una película sensible.	Menos habitual en cuevas modernas.	Más sensible a contaminación, histéresis y deriva.	Muy económico.	No recomendado como sensor principal en CAVETEM.
Punto de rocío / espejo enfriado	Detecta la temperatura a la que aparece condensación.	Referencia técnica para distinguir saturación y condensación cerca del 100 % HR (Cigna, 2002).	Muy adecuado en saturación persistente.	Mayor fiabilidad cerca del umbral evaporación-condensación.	Excelente para validación externa del ITC, pero costoso y complejo para red multipunto.
Psicrómetro ventilado / Assmann	Compara temperatura seca y húmeda con ventilación controlada.	Campañas puntuales o contraste (Cigna, 2002).	Recuperable y trazable, pero no práctico en continuo.	Método clásico.	Validación puntual; difícil de automatizar.
Evaporímetro / sensor de condensación	Mide proceso físico de evaporación o condensación.	Investigación específica cerca de 100 % HR (Cigna, 2002).	Muy útil en el umbral crítico.	Mide proceso real, no solo HR.	Validación futura del ITC.

4. Equipos y sensores documentados en estudios de cuevas

Los estudios recientes muestran dos grandes líneas de instrumentación: redes de alta precisión en cavidades patrimoniales y dataloggers autónomos o sensores IoT para series distribuidas. En ambos casos, la saturación de humedad aparece como una condición ambiental relevante y como una limitación técnica de la HR en el entorno del 100 % (Mejía-Ortíz et al., 2021; Ullman et al., 2026).

Tabla 3. Ejemplos de sensores utilizados en estudios de cuevas y relación con el enfoque ITC.

Contexto	Equipo/sensor	Variables	Uso técnico	Aporte al ITC
Altamira	Pt100 + HR + CO ₂	T aire, T roca, HR, CO ₂	Sistema patrimonial de alta precisión; CO ₂ como trazador de ventilación; registros cada 15 min y 1 min en sala sensible.	Apoya la lectura multivariable T-CO ₂ -ventilación (Sainz et al., 2026).
Río Secreto / Sistema Muévelo Rico	HOBO U23 Pro v2	T + HR	Registro horario durante un año; estaciones invariantes al 100 % HR y análisis de desviaciones desde saturación.	Confirma que el 100 % HR persistente es un estado ambiental relevante (Mejía-Ortíz et al., 2021).
Kateřinská Cave	HOBO Pro V2 + IR/cámara térmica	T aire, HR, T roca/superficie	Cueva turística; intervalos de 1 min recomendados en cuevas accesibles; dificultad de HR >95 %.	Refuerza la necesidad de intervalos finos y calibración (Středová et al., s.f.).
Ascunsă Cave	Gemini Tinytag Plus 2 + sonda externa	T aire y roca	Detección de microvariaciones térmicas semidiurnas de baja amplitud.	Apoya el uso de tendencias térmicas finas, interpretadas por series, no como valor absoluto aislado (Drăgușin et al., 2018).
Cuevas del desierto de Judea	HOBO MX2302A	T + HR	Registros horarios en 12 cuevas; se menciona la saturación del logger como limitación en cuevas kársticas activas.	Refuerza el problema de saturación de dataloggers (Ullman et al., 2026).
CAVETEM	SHT4x + SCD4x + BMP280	T, HR, CO ₂ , presión, DP, HA, ITC	Red IoT distribuida; la HR saturada se interpreta con ITC y dinámica ambiental.	Transforma un límite de HR en lectura operativa multivariable (Ros Vivancos, 2026).

5. Notas de fabricante y lectura técnica de la saturación

5.1 HOBO / Onset

El manual HOBO H8 Pro Series especifica el rango 0-100 % HR y advierte que el equipo debe montarse de forma que el agua no impacte ni se acumule sobre el sensor de HR. También indica que el sensor de HR puede trabajar en ambientes condensantes intermitentes bajo ciertas condiciones, pero que la saturación del sensor implica pérdida de precisión de lectura (Onset Computer Corporation, s.f.).

La lectura técnica para CAVETEM es que el 100 % HR en un datalogger capacitivo no debe interpretarse como una variable fina capaz de describir por sí sola la evolución ambiental. Puede ser una señal válida de saturación, pero no una medida suficiente para distinguir estabilidad, condensación activa o desaturación (Cigna, 2002; Onset Computer Corporation, s.f.).

5.2 Tinytag / Gemini Data Loggers

Los modelos Tinytag Plus 2 de temperatura y HR se presentan como registradores robustos para monitorización ambiental, con rango de HR 0-100 % y sensor capacitivo recubierto para mejorar la resistencia frente a humedad y condensación. Esta robustez es importante para conservación y campo, pero no elimina la limitación física de la HR en saturación persistente (Gemini Data Loggers, s.f.; Drăgușin et al., 2018).

La experiencia de uso de dataloggers Tinytag en cuevas muestra que los sensores de temperatura pueden seguir aportando series útiles y microvariaciones, incluso cuando la HR deja de discriminar. Esta separación entre capacidad térmica y limitación higrométrica es esencial para el ITC-CAVETEM (Drăgușin et al., 2018).

5.3 Sensirion SHT4x

El SHT4x es un sensor digital de humedad relativa y temperatura con interfaz I²C, bajo consumo y heater interno. Sensirion documenta el uso del heater para mitigación de creep en alta humedad, así como recomendaciones de diseño para sensores de humedad y temperatura en ambientes exigentes (Sensirion, 2022, 2024, 2025).

Sensirion también indica que los valores de HR fuera del rango 0-100 % no deben interpretarse como valores físicos y que pueden recortarse al intervalo físico cuando proceda. Esta indicación es coherente con la lógica de CAVETEM: no se calculan humedades superiores a 100 %, sino que se interpreta la saturación con variables complementarias (Sensirion, 2025).

Por tanto, el SHT4x debe presentarse como un sensor capacitivo digital robusto y adecuado para IoT de bajo consumo, pero no como un sensor inmune a la saturación persistente. Su valor en CAVETEM está en la combinación de HR, temperatura, resolución digital, heater y capacidad de integración con CO₂, presión y análisis temporal (Gazis et al., 2025; Sensirion, 2022, 2025).

6. Criterio de selección para una red CAVETEM

Para una red CAVETEM no se busca únicamente la máxima precisión metrológica de laboratorio, sino un equilibrio entre robustez, bajo consumo, mantenimiento, integración digital y capacidad de generar series continuas en varios puntos de la cavidad. La revisión de tecnologías IoT de bajo consumo confirma que sensores ambientales de temperatura, humedad, presión y calidad de aire suelen integrarse mediante I²C, SPI o UART en microcontroladores y plataformas de bajo consumo, con retos asociados a deriva, contaminación, respuesta temporal e interoperabilidad (Gazis et al., 2025).

Tabla 4. Criterios técnicos de selección del sensor T/HR en CAVETEM.

Criterio	Aplicación en SHT4x	Utilidad para ITC-CAVETEM
Integración digital	I ² C y compatibilidad con ESP32.	Permite estaciones compactas y red distribuida.
Bajo consumo	Funcionamiento continuo con electrónica de baja potencia.	Facilita equipos autónomos o semiautónomos.
Medición conjunta	Temperatura y HR en el mismo punto.	Permite calcular DP, gap T-DP y relación de humedad.
Resolución térmica	Registro de décimas y centésimas como tendencia temporal.	Mantiene información cuando la HR queda en saturación.
Heater interno	Recuperación funcional, diagnóstico y mitigación de creep.	Debe usarse con prudencia para no perder episodios ambientales.
Documentación técnica	Guías de diseño, contaminación y alta humedad.	Permite justificar decisiones de firmware y mantenimiento.

7. Sensores SHT4x en CAVETEM

La elección del SHT4x en CAVETEM no es casual. Dentro de los sensores capacitivos digitales disponibles para redes IoT, ofrece una combinación equilibrada de robustez, integración, bajo consumo, tamaño reducido, salida digital I²C, medición conjunta de temperatura y HR, heater interno y documentación técnica específica para alta humedad (Sensirion, 2022, 2024, 2025).

El SHT4x no se adopta porque resuelva por sí solo la medición física de condensación en el entorno exacto del 100 % HR. Para esa finalidad, una sonda de punto de rocío o un evaporímetro serían instrumentos más directos, aunque menos viables como red multipunto permanente por coste, consumo y mantenimiento (Cigna, 2002).

Su valor dentro de CAVETEM es que permite seguir registrando temperatura con suficiente resolución para analizar tendencias en décimas y centésimas. Estas microvariaciones térmicas, interpretadas por bandas y combinadas con CO₂ y presión, permiten definir el ITC y la capa de dinámica ambiental cuando la HR queda limitada en el entorno de saturación persistente (Drăgușin et al., 2018; Sainz et al., 2026; Sensirion, 2025).

Por tanto, el SHT4x se plantea como sensor operativo principal para una red distribuida, mientras que el ITC-CAVETEM actúa como capa de interpretación. La HR indica proximidad a saturación; la temperatura, el punto de rocío, el CO₂, la presión y la persistencia permiten interpretar si el sistema está estable, confinado, renovándose, aumentando condensación o abriendo margen de desaturación (Ros Vivancos, 2026).

8. Relación de variables con el ITC-CAVETEM

El ITC-CAVETEM no sustituye a la medida original de HR ni corrige la humedad por encima del 100 %. Su función es integrar variables que siguen siendo informativas en atmósferas saturadas, especialmente temperatura, punto de rocío, CO₂, presión y relación de humedad (Ros Vivancos, 2026).

Tabla 5. Variables empleadas en la interpretación ITC y su papel en saturación persistente.

Variable	Qué aporta	Limitación	Uso en ITC
HR	Detecta humedad alta y saturación.	Pierde discriminación cerca del 100 %.	Activa bandas de humedad alta, saturación y persistencia.
Temperatura	Registra microvariaciones aunque la HR esté saturada.	No mide condensación por sí sola.	Tendencia térmica y cálculo de DP.
Punto de rocío	Integra T y HR en una condición psicrométrica.	Depende de la calidad de T/HR.	Permite calcular gap T-DP.
Gap T-DP	Indicador operativo de proximidad a saturación.	Debe interpretarse por bandas, no como exactitud absoluta.	Núcleo físico del ITC.
CO ₂	Trazador de ventilación, confinamiento y presencia humana.	No equivale por sí solo a condensación.	Diferencia aire confinado, renovación o estabilidad.
Presión	Registra cambios barométricos y posibles pulsos de ventilación.	Señal indirecta.	Aporta lectura de dinámica atmosférica.
Relación de humedad / HA	Contenido real de vapor de agua.	Requiere cálculo psicrométrico.	Permite comparar cuevas frías y cálidas con igual HR.

9. Conclusiones

1. La saturación persistente en cuevas no debe considerarse automáticamente un fallo instrumental. En muchas cavidades es una condición ambiental estructural, especialmente en sectores húmedos, profundos o de baja ventilación (Cigna, 2002; Mejía-Ortíz et al., 2021).
2. Los sensores Pt100/RTD son muy adecuados para registrar temperatura con alta precisión en ambientes saturados, y pueden seguir aportando microvariaciones térmicas, aunque la HR permanezca en 100 %. Sin embargo, no miden humedad ni condensación por sí mismos; necesitan integrarse con HR, punto de rocío, CO₂, presión o temperatura superficial (Sainz et al., 2026).
3. Los sensores capacitivos de HR, empleados en dataloggers HOBO, Tinytag y sensores digitales como SHT4x, son la solución más viable para redes continuas y distribuidas por su bajo consumo, tamaño y facilidad de integración. No obstante, los propios fabricantes y la bibliografía técnica advierten de limitaciones en condiciones de saturación, condensación, contaminación o exposición prolongada a alta humedad (Onset Computer Corporation, s.f.; Gemini Data Loggers, s.f.; Sensirion, 2022, 2025; Gazis et al., 2025).
4. La elección del SHT4x en CAVETEM queda justificada por criterios técnicos: integración I²C, bajo consumo, medición conjunta de T y HR, disponibilidad de heater, documentación específica para alta humedad y capacidad de registrar tendencias térmicas útiles. Su limitación en saturación persistente no se oculta, sino que se incorpora al diseño metodológico del ITC-CAVETEM (Sensirion, 2022, 2024, 2025).
5. El ITC-CAVETEM transforma el límite de discriminación de la HR cerca del 100 % en una lectura ambiental multivariable. Cuando la HR deja de aportar resolución suficiente, el sistema interpreta la evolución de la masa de aire mediante temperatura, punto de rocío, gap T-DP, CO₂, presión, relación de humedad y persistencia temporal. Esta aproximación permite diferenciar saturación estable, condensación probable, confinamiento, renovación o desaturación sin recurrir a humedades relativas físicamente imposibles (Ros Vivancos, 2026).

10. Referencias bibliográficas y documentación técnica

Badino, G. 2010. Underground meteorology - "What's the weather underground?". Acta Carsologica, 39(3), 427-448.

- Cigna, A.A. 2002. Modern trend in cave monitoring. *Acta Carsologica*, 31(1), 35-54.
- Drăgușin, V., Tîrlă, L., Cadicheanu, N., Ersek, V. and Mirea, I.-C. 2018. Caves as observatories for atmospheric thermal tides: an example from Ascunsă Cave, Romania. *International Journal of Speleology*, 47(1), 113-117.
- Gazis, A., Papadongonas, I., Andriopoulos, A., Zioudas, C. and Vavouras, T. 2025. Comprehensive review: sensor technologies, instrumentation, and signal processing in low-power IoT. *Academia Engineering*, 2. <https://doi.org/10.20935/AcadEng7541>.
- Gemini Data Loggers. s.f. Tinytag Plus 2 TGP-4500 Temperature/Relative Humidity Data Logger. Technical datasheet / product documentation.
- Mejía-Ortiz, L., Christman, M.C., Pipan, T. and Culver, D.C. 2021. What's the relative humidity in tropical caves? *PLoS ONE*, 16(9), e0250396.
- Onset Computer Corporation. s.f. HOBO H8 Pro Series User's Manual. Temperature and Relative Humidity Data Logger documentation.
- Ros Vivancos, A. 2026. Índice de Tendencia de Condensación (ITC) para equipos CAVETEM IoT System en cavidades con humedad extrema. CAVETEM IoT System, TECMINSA-QALAT, Cartagena, España.
- Sainz, C., Morales, I., Rábago, D., Celaya, S., Fernández, A., Fuente, I., Fernández, E., Quindós, J. and Quindós, L. 2026. Implications of daily thermal variations in the ventilation and indoor CO₂ levels in the karstic system of the Altamira Cave. *Environmental Science: Atmospheres*, 6, 377-389.
- Sensirion. 2022. Using the Integrated Heater of SHT4x in High-Humidity Environments. Application Note: Creep Mitigation. Sensirion AG, Stäfa.
- Sensirion. 2024. Design Guide for Humidity and Temperature Sensors. Sensirion AG, Stäfa.
- Sensirion. 2025. Datasheet SHT4x - 4th Generation Relative Humidity and Temperature Sensor. Sensirion AG, Stäfa.
- Středová, H., Středa, T. and Rožnovský, J. s.f. Climatic monitoring of tourist attractive caves. Mendel University in Brno / Czech Hydrometeorological Institute.
- Ullman, M., Kletzerman, M., Oron, A., Porat, R., Langford, B., Frumkin, A., Jaffe, Y., Davidovich, U. and Marom, N. 2026. Year-round hourly temperature and humidity sensor readings from arid caves, Judean Desert, Israel. *Scientific Data*, 13, 105.

Cierre técnico: Este datasheet puede incorporarse como anexo independiente al artículo ITC. Su función es permitir que el lector identifique las familias de sensores aplicables, compare sus límites en saturación persistente y entienda por qué CAVETEM combina sensores capacitivos SHT4x con una capa de interpretación multivariable.