



28° CONGRESO INTERNACIONAL DE
MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS



EXPO
MANTENER
2026



SISTEMA DE MONITOREO INALÁMBRICO EN TIEMPO REAL PARA LA DETECCIÓN Y GESTIÓN PREDICTIVA DE LA CORROSIÓN BAJO AISLAMIENTO(CUI)

HELMER OMAR CARVAJAL SUÁREZ

24 de Abril de 2026

22 | 23 | 24 | ABRIL

Desafío del CUI

- El Net Zero Technology Centre del Reino Unido (anteriormente OGTC) afirma que el **20% de los incidentes** importantes en el sector de petróleo y gas en la unión Europea son causados por la corrosión bajo aislamiento (CUI, por sus siglas en inglés).
- Los legisladores (del Reino Unido y Noruega) afirman que el **50% de las fugas de hidrocarburos** en la Plataforma Continental son causadas por la CUI.
- Se estima que la inversión para gestionar la CUI representa entre el 40% y el 60% del presupuesto de mantenimiento de tuberías, o un 10% del presupuesto total de mantenimiento (según un estudio de Exxon, 2003).
- Una gran refinería puede gastar **100 millones de euros anualmente**.



¿Qué es la corrosión bajo aislamiento(CUI)?

Es un mecanismo de daño que ocurre cuando la humedad queda atrapada entre el aislamiento térmico y la superficie metálica de recipientes a presión, provocando corrosión externa no visible durante la operación normal.



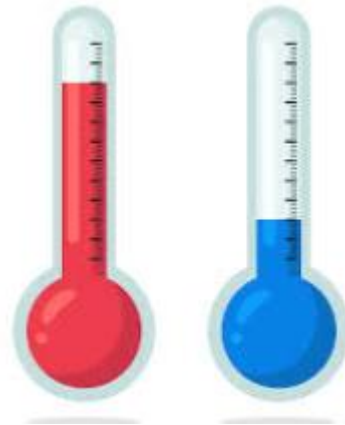
Factores determinantes del CUI

Los factores más importantes son:

- ✓ Humedad atrapada bajo el aislamiento
- ✓ Rangos críticos de temperatura
- ✓ Tiempo de exposición
- ✓ Ambientes corrosivos

Impacto directo en:

- ✓ Seguridad operacional
- ✓ Integridad mecánica
- ✓ Costos de mantenimiento y paradas no programadas



Influencia de la temperatura en el CUI

El mayor riesgo de CUI ocurre entre **50 °C y 175 °C**, porque en ese rango el agua puede permanecer en contacto con el metal durante largos periodos y las reacciones electroquímicas de corrosión son más rápidas

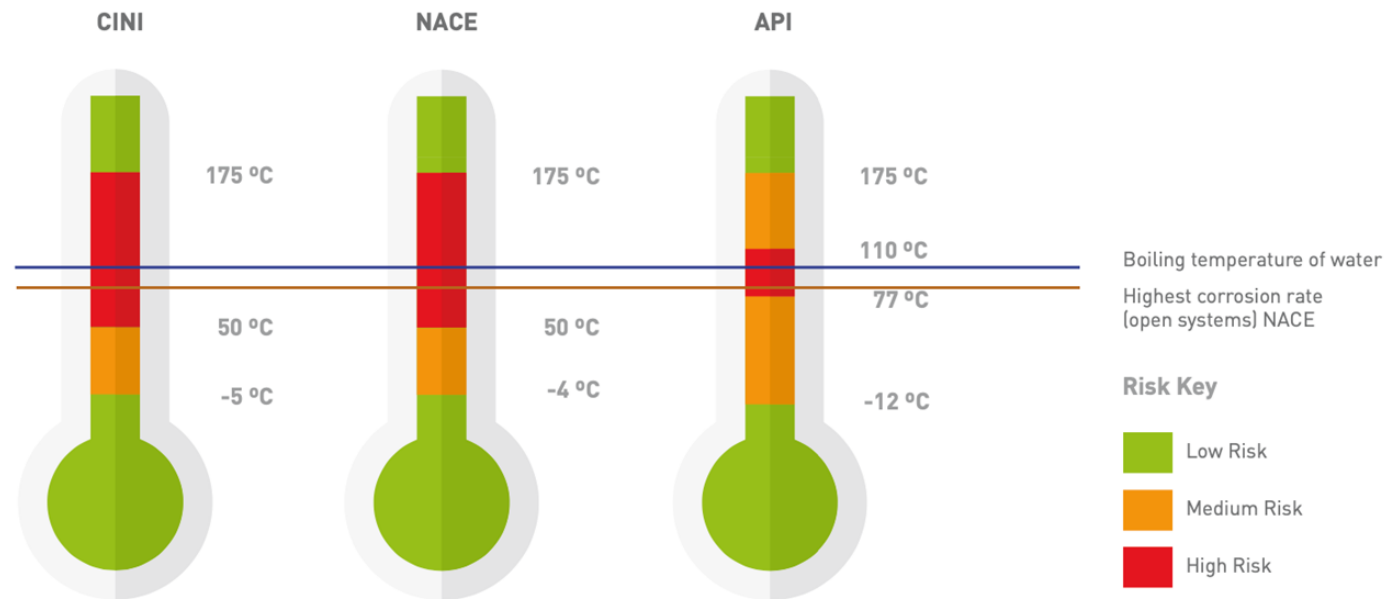
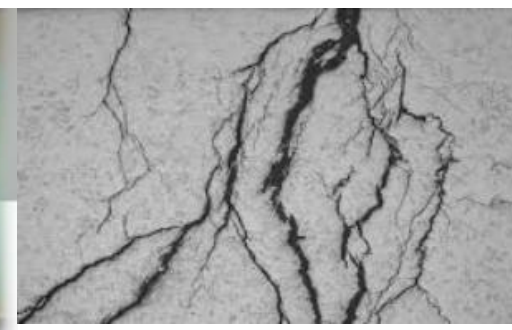


Figure 1. CUI risk profile as a function of temperature

¿Qué tipos de corrosión ocurre bajo el aislamiento?

Tipos de corrosión:

- Corrosión general
- Corrosión localizada (pitting)
- Corrosión por hendiduras
- Corrosión inducida por cloruros
- Corrosión bajo tensión (en aceros inoxidable)



Limitaciones del enfoque tradicional

Métodos convencionales de detección de CUI

- Inspecciones visuales periódicas
- Retiro parcial o total del aislamiento
- Mediciones puntuales de ultrasonido

Métodos no destructivos avanzados de detección de CUI

- Termografía infrarroja
- Corriente Eddy pulsada
- Ondas guiadas

Principales limitaciones:

- Alto costo operativo (andamios, mano de obra)
- Exposición HSE (trabajos en altura, áreas clasificadas)
- Información puntual, no continua
- Intervenciones no siempre basadas en riesgo real



“La inspección tradicional nos dice cómo estaba el activo ese día, no cómo se comporta en el tiempo.”

¿Qué necesita el mantenimiento moderno?

- Información continua de condición
- Enfoques predictivos
- Priorización basada en riesgo
- Menos intervenciones innecesarias
- Decisiones soportadas en datos

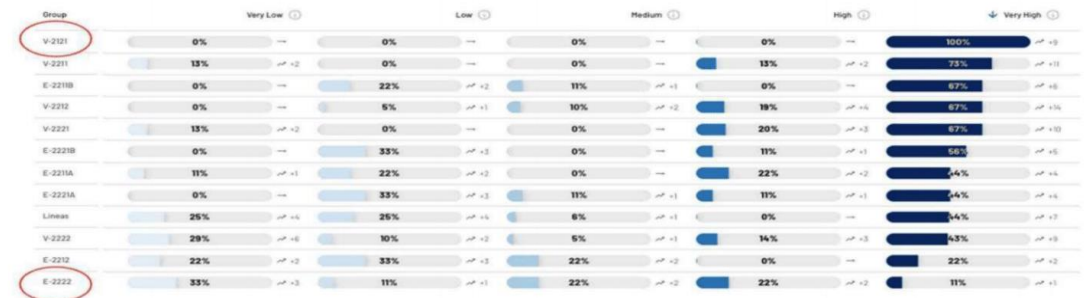
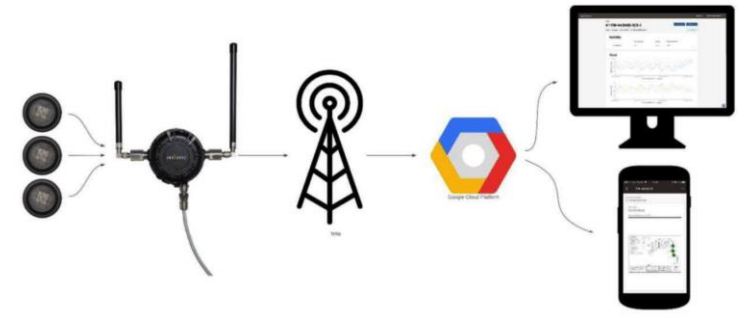
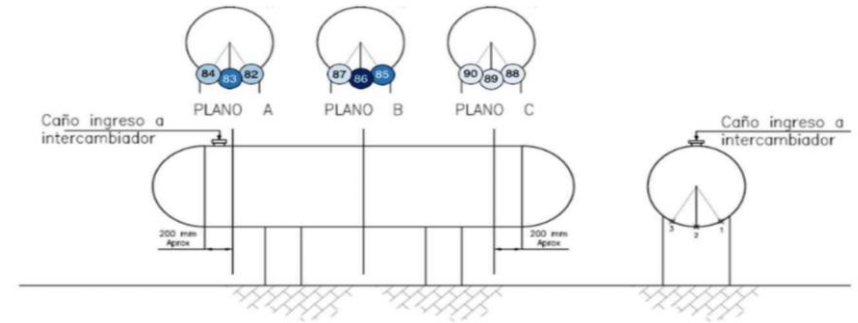


“Aquí es donde el monitoreo de condición se convierte en un aliado clave para la gestión de la CUI.”

Metodología SMART: CUI predictiva

Enfoque metodológico

1. Identificación de activos críticos
2. Definición de puntos de monitoreo basados en riesgo
3. Instalación no intrusiva
4. Adquisición y transmisión continua de datos
5. Análisis de condición y tendencias
6. Soporte a la toma de decisiones de mantenimiento



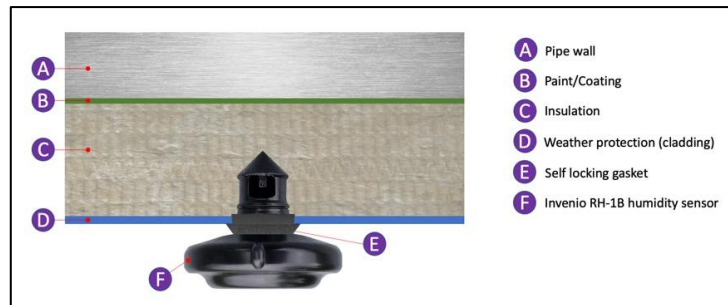
Arquitectura del Sistema

El sistema de monitoreo de CUI está compuesto por tres niveles principales.

1. Sensores inalámbricos

Sensores compactos de humedad relativa y temperatura, diseñados para instalación en tuberías y equipos aislados. Estos sensores cuentan con:

- ❖ Certificación ATEX e IECEx para uso intrínsecamente seguro en Zona 0.
- ❖ Rango de operación típico entre -20 °C y 100 °C.
- ❖ Vida útil de batería superior a 10 años bajo condiciones normales de operación.
- ❖ Comunicación inalámbrica en banda RF con cifrado AES-128.



Arquitectura del Sistema

2- Gateways de comunicación

Gateways certificados para áreas clasificadas, encargados de recopilar la información de múltiples sensores (hasta 1000 por gateway) y transmitirla a la nube mediante redes 4G, Wi-Fi, Ethernet o comunicación serial. Estos dispositivos incluyen respaldo de energía y almacenamiento local para garantizar la continuidad de datos.

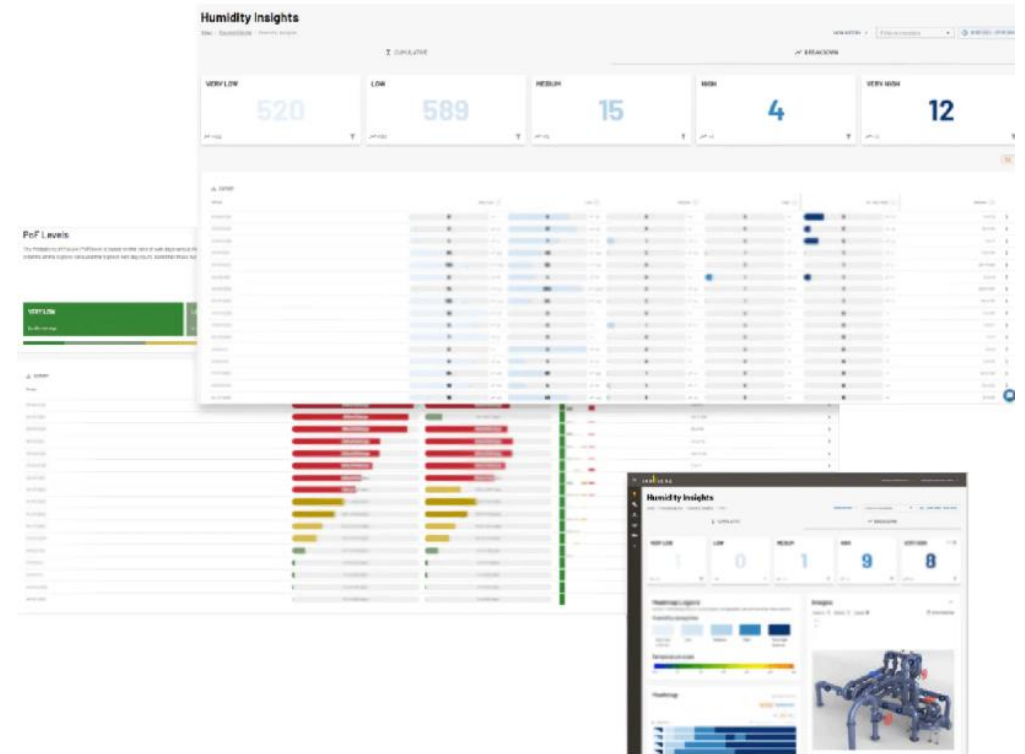


Arquitectura del Sistema

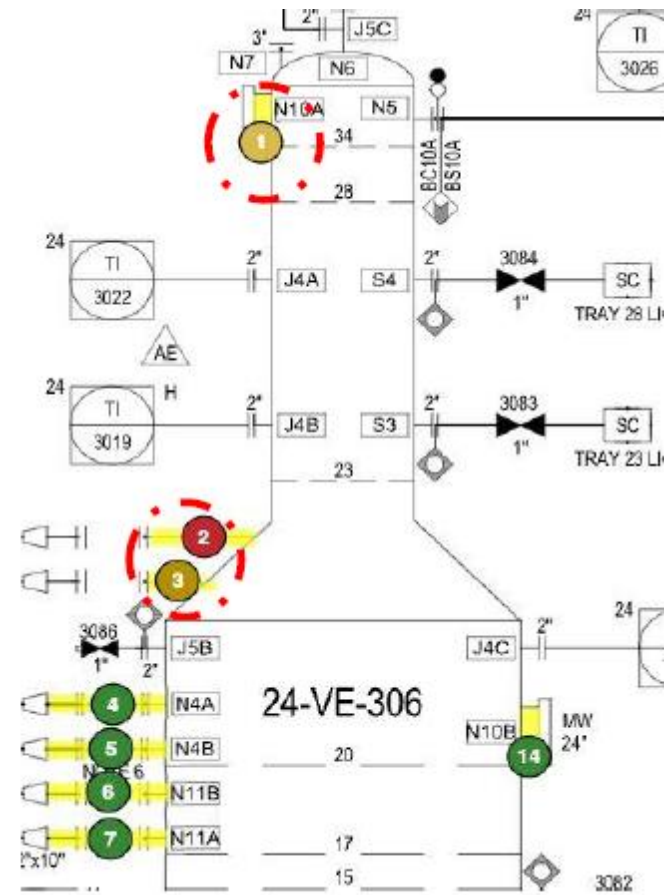
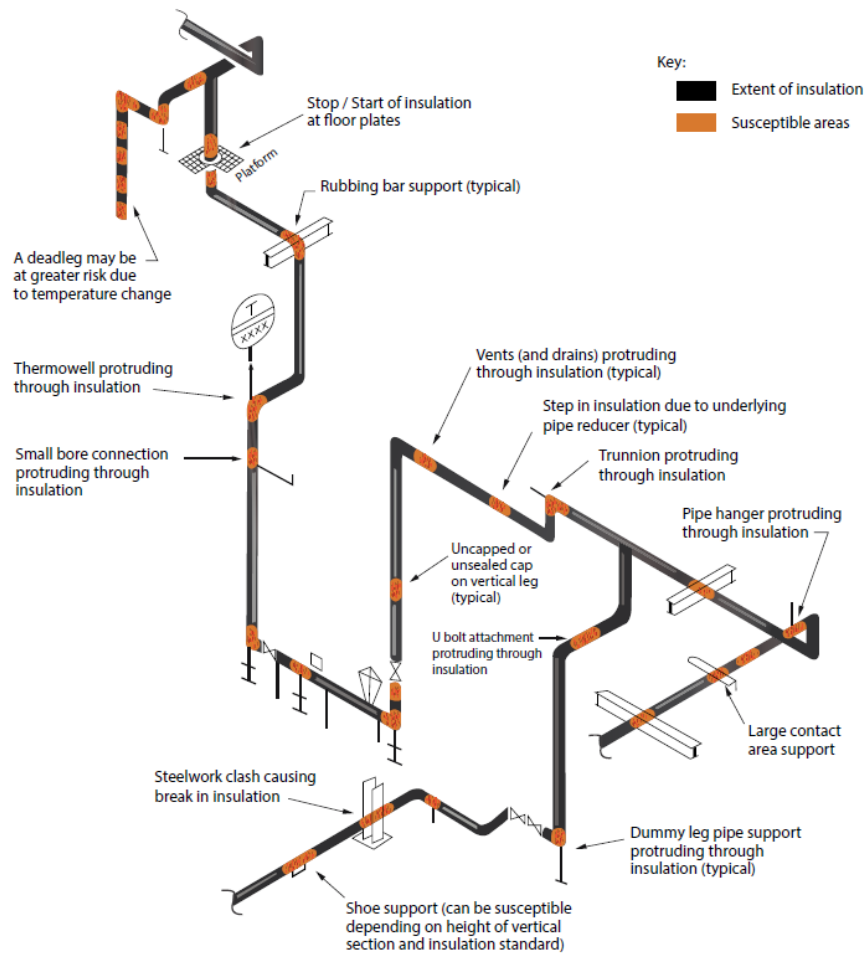
3- Plataforma digital

Plataforma web basada en la nube que permite:

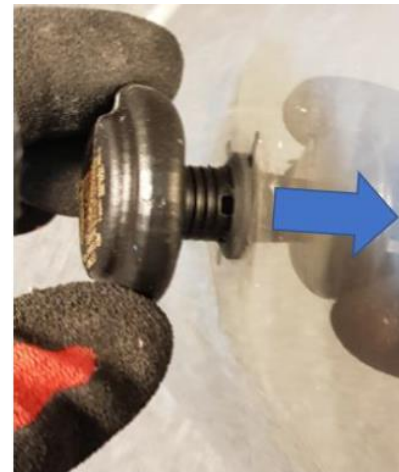
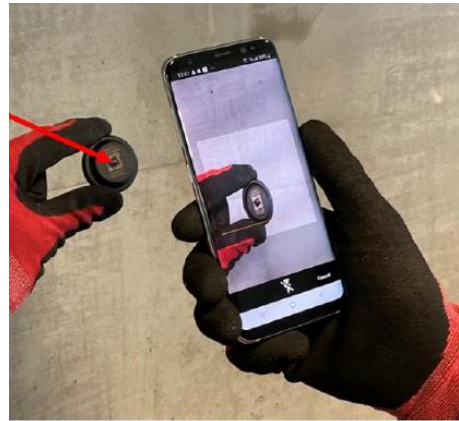
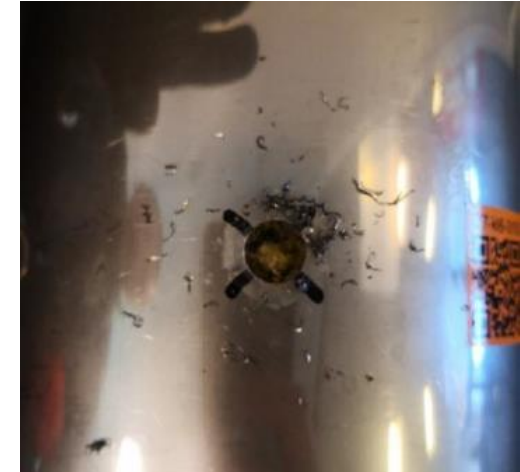
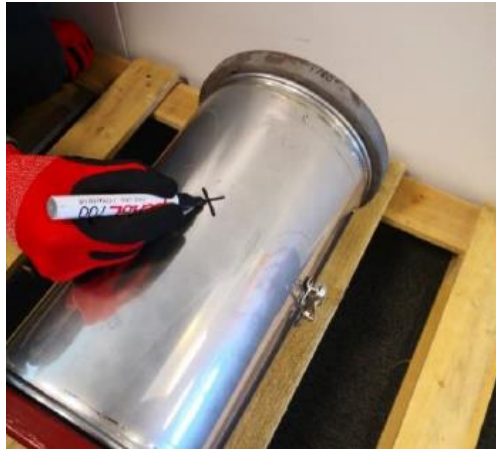
- ❖ Visualización en tiempo real del estado de humedad bajo aislamiento.
- ❖ Análisis histórico y clasificación de zonas secas, húmedas o críticas.
- ❖ Integración con sistemas de gestión de mantenimiento y plataformas industriales existentes mediante APIs.
- ❖ Soporte para enfoques de mantenimiento predictivo y gestión de activos basada en datos.



IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO



INSTALACIÓN DE SENSORES





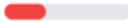


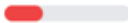
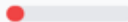
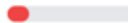
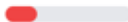
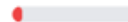




PLATAFORMA

Search sensors... CC-60001 All Status Clear Filters 12 sensors

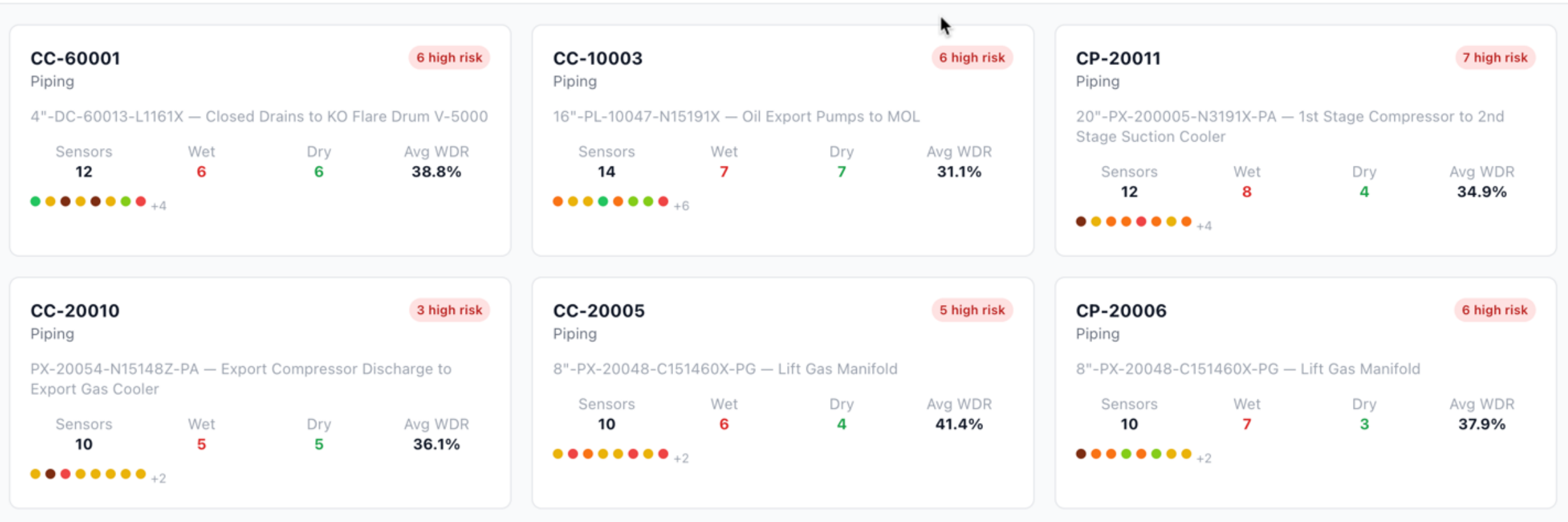
Sensor ID ^	Equipment	Status	PoF Level	Wet Day Ratio	Last Reading	Reading Date
CC-60001-S01	CC-60001	DRY	Dry	0%	59.3% RH	2026-02-16
CC-60001-S02	CC-60001	DRY	Medium	21.1%	48.2% RH	2026-03-05
CC-60001-S03	CC-60001	WET	Saturated	78.1%	58.4% RH	2026-02-23
CC-60001-S04	CC-60001	DRY	Medium	20.6%	28% RH	2026-02-14
CC-60001-S05	CC-60001	WET	Saturated	72%	53.9% RH	2026-03-03
CC-60001-S06	CC-60001	DRY	Medium	19.8%	34.1% RH	2026-03-01
CC-60001-S07	CC-60001	DRY	Low	8.3%	80.6% RH	2026-02-22
CC-60001-S08	CC-60001	WET	Very High	67.6%	75.3% RH	2026-03-08
CC-60001-S09	CC-60001	WET	High	43.1%	29.8% RH	2026-02-13
CC-60001-S10	CC-60001	WET	High	37.2%	55.4% RH	2026-02-25
CC-60001-S11	CC-60001	DRY	Medium	18.7%	20.9% RH	2026-03-10
CC-60001-S12	CC-60001	WET	Saturated	79.5%	88.7% RH	2026-02-15

PLATAFORMA

Equipment Summary

Equipment	Type	Location	Sensors	Wet	Dry	Health
CC-60001	Piping	FPSO Kwame Nkrumah - Closed Drains	12	6	6	 50%
CC-10003	Piping	FPSO Kwame Nkrumah - Oil Export	14	7	7	 50%
CP-20011	Piping	FPSO Kwame Nkrumah - Compression	12	8	4	 33%
CC-20010	Piping	FPSO Kwame Nkrumah - Compression	10	5	5	 50%
CC-20005	Piping	FPSO Kwame Nkrumah - Lift Gas	10	6	4	 40%
CP-20006	Piping	FPSO Kwame Nkrumah - Lift Gas	10	7	3	 30%
CP-10004	Piping	FPSO Kwame Nkrumah - Oil Export	14	12	2	 14%
CP-10006	Piping	FPSO Kwame Nkrumah - Produced Water	12	10	2	 17%
CC-20008	Piping	FPSO Kwame Nkrumah - Compression	16	12	4	 25%
CP-20009	Piping	FPSO Kwame Nkrumah - Compression	12	11	1	 8%
CP-10002	Pressure Vessel	FPSO Kwame Nkrumah - Production Separation	14	7	7	 50%
CP-50001-02	Piping	FPSO Kwame Nkrumah - Flare System	12	5	7	 58%
SP-01602	Piping	FPSO Kwame Nkrumah - Production Separation	10	8	2	 20%
SP-381-21	Piping	FPSO Kwame Nkrumah - Production Wellhead	10	4	6	 60%

PLATAFORMA



TENDENCIAS

Sensor CC-60001-S07 - Sensor 7

Equipment: CC-60001

Status: **DRY**

PoF Level: **Low**

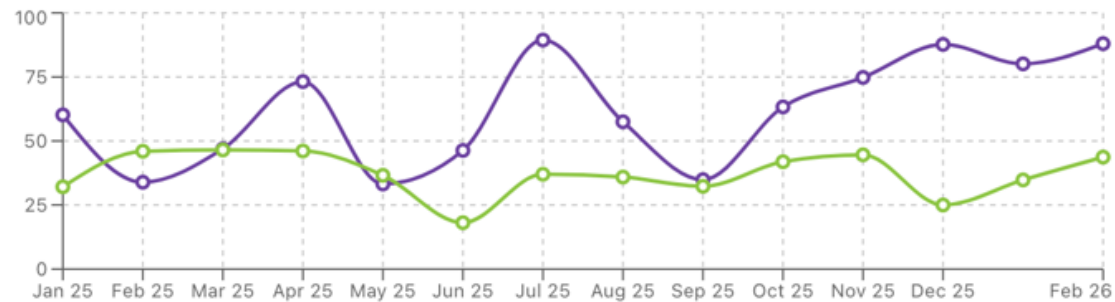
Wet Day Ratio: **8.3%**

Last Reading: **80.6% RH**

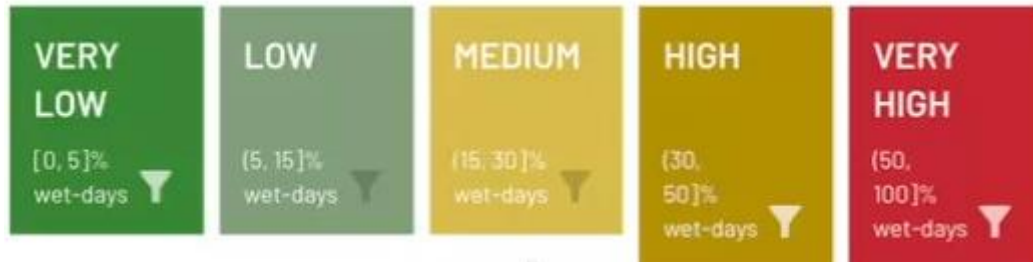
Last Reading Date: **2026-02-22**

Install Date: **2025-01-15**

Humidity Trend



○ Humidity (%) ○ Temp (°C)



Sensor CC-60001-S03 - Sensor 3

Equipment: CC-60001

Status: **WET**

PoF Level: **Saturated**

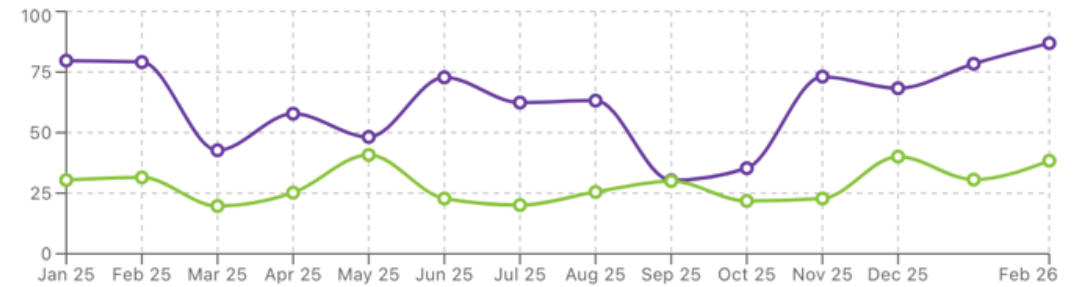
Wet Day Ratio: **78.1%**

Last Reading: **58.4% RH**

Last Reading Date: **2026-02-23**

Install Date: **2025-01-15**

Humidity Trend



○ Humidity (%) ○ Temp (°C)

BENEFICIOS DEL MONITOREO DE CONDICIÓN

- Permite detectar condiciones anómalas de operación en tiempo real, antes de que se materialice el daño.
- Facilita la toma de decisiones basada en datos reales, reduciendo la dependencia de supuestos conservadores.
- Optimiza los planes de mantenimiento, priorizando intervenciones solo donde existe evidencia de deterioro.
- Reduce costos operativos y paradas no programadas, al evitar mantenimientos innecesarios.
- Mejora la confiabilidad, disponibilidad y seguridad de los activos, minimizando la exposición a riesgos HSE.

CONCLUSIONES

- La evidencia demuestra que la CUI no es un fenómeno generalizado, sino altamente localizado, lo que invalida los enfoques tradicionales basados en inspección masiva y justifica una gestión selectiva basada en condición real.
- Asumir aislamiento húmedo por defecto conduce a sobreinspección y uso ineficiente de recursos, mientras que el monitoreo continuo permite discriminar de forma objetiva entre zonas secas, intermitentes y críticas.
- La incorporación de datos reales de humedad y temperatura transforma el RBI de un ejercicio conservador a uno basado en evidencia, fortaleciendo la toma de decisiones en integridad mecánica.
- El valor del monitoreo no está en detectar daño, sino en anticipar el riesgo y demostrar dónde no es necesario intervenir, permitiendo extender intervalos de inspección sin comprometer la seguridad.
- La gestión moderna de la CUI debe evolucionar desde inspecciones reactivas hacia estrategias predictivas apoyadas en monitoreo continuo, alineándose con los principios de gestión de activos, confiabilidad y seguridad operacional.

¡Gracias!