

Sistema de monitoreo inalámbrico en tiempo real para la detección y gestión predictiva de la corrosión bajo aislamiento (CUI)

Helmer Omar Carvajal Suárez
INSURCOL S.A.S. – Calle 41 #21-32, Bucaramanga

Resumen

La Corrosión Bajo Aislamiento (CUI) representa un desafío crítico para la integridad de equipos industriales, generando riesgos significativos para la seguridad, el ambiente y la continuidad operacional. Su detección tradicional se basa en inspecciones manuales costosas que requieren el retiro del aislamiento, uso de andamiaje y exposición del personal a riesgos HSE. Como alternativa, se presenta un sistema que integra sensores inalámbricos certificados ATEX/IECEX y una plataforma digital para la gestión predictiva de la CUI. Los sensores, intrínsecamente seguros para Zona 0, permiten medir humedad y temperatura en tiempo real sin retirar el aislamiento. La información es transmitida a la nube y analizada mediante herramientas analíticas, facilitando la visualización, el análisis histórico y la evaluación del riesgo. Esta solución permite priorizar intervenciones, reducir costos de mantenimiento y fortalecer la gestión de activos.

1. Introducción

La Corrosión Bajo Aislamiento (CUI) es un fenómeno ampliamente reconocido como una de las principales causas de fallas inesperadas en tuberías, equipos estáticos y sistemas aislados en industrias como petróleo y gas, petroquímica, generación de energía y procesos industriales. La presencia de humedad atrapada bajo el aislamiento, combinada con rangos críticos de temperatura y ambientes corrosivos, favorece la degradación acelerada de los materiales metálicos. [5]

2. Desafíos actuales

Las metodologías tradicionales de detección de CUI se basan en inspecciones visuales, ultrasonido puntual y retiro parcial o total del aislamiento, lo cual implica altos costos operativos, uso de andamios, exposición del personal a riesgos HSE y afectación de la continuidad operativa. En muchos casos, estas inspecciones se realizan de manera periódica y no en función del riesgo real, lo que conlleva intervenciones innecesarias o detección tardía del daño.

Ante este escenario, surge la necesidad de adoptar enfoques de monitoreo continuo y gestión predictiva que permitan anticipar condiciones propicias para la CUI, priorizar activos críticos y optimizar los recursos de mantenimiento.

3. Objetivo

Presentar una solución integral para la detección y prevención de la Corrosión Bajo Aislamiento (CUI) mediante un sistema de monitoreo inalámbrico en tiempo real, que combina sensores certificados para atmósferas explosivas, transmisión segura de datos y una plataforma digital con analítica predictiva, con el fin de mejorar la seguridad operacional, optimizar los costos de mantenimiento y garantizar la integridad de los activos industriales.

4. Arquitectura del sistema y certificaciones

El sistema de monitoreo de CUI está compuesto por tres niveles principales. [1][2]:

4.1. Sensores inalámbricos

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

- Vida útil de batería superior a 10 años bajo condiciones normales de operación.
- Comunicación inalámbrica en banda RF con cifrado AES-128.

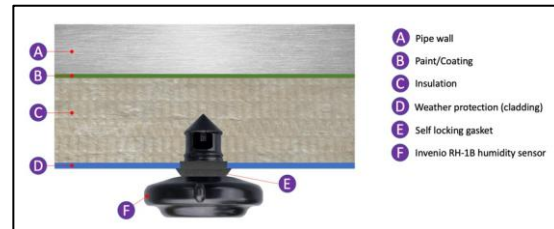


Fig 1 Sensor inalámbricos.

4.2. 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.



Fig 2 Gateway de comunicación

4.3. Plataforma digital

Plataforma web basada en la nube que permite:

- Certificación ATEX e IECEx para uso intrínsecamente seguro en Zona 0. [3]
- Rango de operación típico entre -20 °C y 100 °C.
- 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.

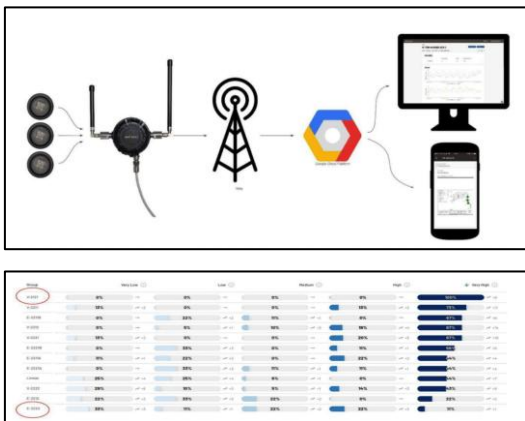


Fig. 3. Plataforma digital

5. Metodología Smart: CUI Predictiva

La metodología para la predicción del CUI se basa en un enfoque de monitoreo de condición y gestión basada en riesgo, estructurada en las siguientes etapas. [6]:

- Identificación de activos críticos
Selección de líneas, equipos y zonas con mayor susceptibilidad a CUI, considerando temperatura de operación, tipo de aislamiento,

historial de corrosión y criticidad operacional.

- Instalación de sensores no intrusivos:
Implementación de sensores inalámbricos de humedad relativa y temperatura, instalados directamente sobre los activos aislados sin necesidad de retirar el aislamiento, reduciendo tiempos de intervención y riesgos HSE.

- Adquisición y transmisión de datos
Los sensores transmiten datos en intervalos definidos (típicamente una lectura por hora) hacia gateways certificados, que a su vez envían la información de forma segura a la plataforma digital.

- Procesamiento y análisis de la información

La plataforma integra datos en tiempo real e históricos, aplicando modelos analíticos y algoritmos de aprendizaje automático para identificar patrones de humedad persistente y condiciones favorables para CUI.

- Soporte a la toma de decisiones
Los resultados permiten priorizar inspecciones, planificar intervenciones de mantenimiento, evitar reemplazos innecesarios de aislamiento y enfocar recursos en los activos con mayor riesgo.

6. Principales Beneficios

La implementación de sistemas de monitoreo inalámbrico para la detección temprana de condiciones favorables a la Corrosión Bajo Aislamiento (CUI) permite evolucionar desde modelos de mantenimiento reactivo hacia estrategias predictivas basadas en datos.

El monitoreo continuo de humedad relativa y temperatura bajo aislamiento proporciona visibilidad sobre variables que históricamente han sido difíciles de medir sin intervenciones intrusivas. Esta capacidad reduce la incertidumbre operativa y mejora la confiabilidad de los programas de integridad mecánica.

Desde el punto de vista técnico, los principales beneficios observados incluyen:

- Detección temprana de condiciones de riesgo: La identificación oportuna de humedad persistente permite intervenir antes de que se inicien procesos corrosivos severos, reduciendo la probabilidad de fallas no contenidas.
- Optimización del mantenimiento: El acceso a información en tiempo real facilita la priorización de inspecciones en función del riesgo real del activo, evitando desmontajes innecesarios de aislamiento y reduciendo la movilización de recursos como andamios y equipos especializados.
- Mejora en la gestión de activos: La disponibilidad de datos históricos permite analizar tendencias, identificar zonas

recurrentemente expuestas a humedad y ajustar los planes de mantenimiento dentro de marcos de gestión basada en riesgo (RBI).

- Reducción de la exposición a riesgos HSE: Al disminuir la necesidad de inspecciones intrusivas, se reduce la exposición del personal a trabajos en altura, manipulación de aislamiento y actividades en áreas clasificadas.
- Soporte a la toma de decisiones basada en datos: Las plataformas digitales asociadas al sistema permiten clasificar áreas secas, húmedas o críticas, facilitando decisiones técnicas más objetivas respecto a reparación, reemplazo o extensión de vida útil de los activos.

En conjunto, estos beneficios contribuyen a mejorar la integridad de la infraestructura, optimizar costos operacionales y fortalecer la confiabilidad de las instalaciones industriales.

7. Caso de aplicación

Monitoreo de CUI en una planta de procesamiento de gas. [4]

Un ejemplo relevante de aplicación corresponde a una instalación upstream de procesamiento de gas que implementó sensores inalámbricos de humedad y temperatura como parte de un programa de extensión de vida útil de sus activos.

El objetivo principal fue mejorar la eficiencia operacional y la integridad de la infraestructura mediante el monitoreo en tiempo real de los sistemas de aislamiento, permitiendo predecir puntos potenciales de ingreso de agua y prevenir la degradación asociada a CUI.



Fig. 4. Instalación Sensores.

Los sensores fueron instalados estratégicamente en áreas críticas susceptibles a acumulación de humedad e integrados al sistema de monitoreo de la planta, permitiendo la recopilación y análisis continuo de datos.

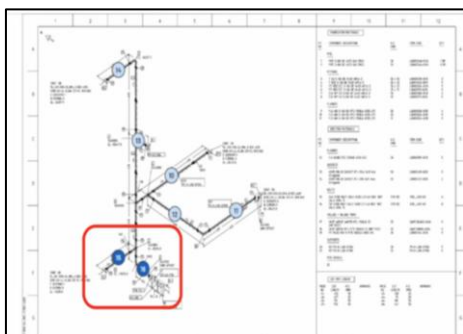


Fig. 5. Areas criticas susceptibles.

Durante un evento climático severo (ciclón), el sistema detectó un

incremento significativo en los niveles de humedad registrados. Históricamente, aproximadamente el 3 % de los sensores presentaban niveles medios a altos de humedad; sin embargo, durante el evento esta cifra aumentó a cerca del 25 %, evidenciando infiltración de agua en determinados puntos del aislamiento.



Fig. 6. Areas sensible a la humedad.

De manera complementaria, más del 75 % de los sensores indicaron condiciones secas tras el evento, confirmando la integridad del aislamiento en gran parte de la infraestructura.

Esta información permitió:

- Priorizar inspecciones en zonas con mayor probabilidad de corrosión.
- Postergar mantenimiento planificado en áreas sin afectación.
- Optimizar la asignación de recursos.
- Reducir intervenciones innecesarias.

8. Conclusiones

La corrosión bajo aislamiento continúa siendo uno de los mecanismos de daño más complejos para la industria debido a su naturaleza oculta y al alto costo asociado a su detección mediante métodos tradicionales.

La incorporación de sistemas de monitoreo inalámbrico en tiempo real permite transformar la gestión de CUI hacia un enfoque predictivo, proporcionando información crítica para anticipar fallas, optimizar intervenciones y reducir riesgos operacionales.

El caso analizado demuestra que la disponibilidad de datos confiables facilita la priorización de actividades de mantenimiento, mejora la asignación de recursos y fortalece la integridad de los activos industriales.

En un contexto donde la confiabilidad, la seguridad y la eficiencia operacional son variables estratégicas, la digitalización del monitoreo de condiciones se posiciona como un componente clave dentro de los modelos modernos de gestión de activos.

La integración de estas tecnologías no solo contribuye a extender la vida útil de la infraestructura, sino que también impulsa una cultura organizacional orientada a la toma de decisiones basada en datos.

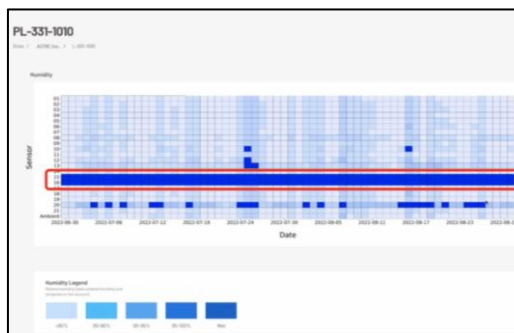


Fig. 7. Indicación de humedad debajo del aislamiento

Como resultado, el monitoreo en tiempo real fortaleció la toma de decisiones basada en datos, contribuyendo a mejorar la seguridad, generar ahorros operacionales y mantener el desempeño de la planta.

Este caso evidencia el valor de integrar tecnologías digitales dentro de las estrategias modernas de gestión de activos.



Fig. 8. Evidencia de humedad detectada por sensor.

9. Referencias Técnicas

[1] Axess Energy, DEC 2025 CUI (Corrosion Under Insulation) System, presentación técnica corporativa, diciembre, 2025.

[2] Axes Corrosion, Wireless and Real-Time Sensors and Data Solutions to Monitor and Predict CUI, hoja técnica del sistema INVENIO, Doc. Id 2128, rev. 3, noviembre, 2021.

[3] Axes Corrosion, IECEx Certificate of Conformity for Invenio RH-1 Humidity Sensor, certificado IECEx DNV 21.0023X, DNV Product Assurance AS, febrero, 2023.

[4] Axes Corrosion, Enhancing Operational Efficiency at Gas Processing Plant with Invenio RH-1 Sensors, estudio de caso técnico, 2025.

[5] P. Marcus, The Corrosion Monitoring Handbook, Elsevier, Oxford, 2002, cap. 4, pp. 90–93.

[6] Axess Energy, Where to Monitor – Technical Datasheets, guía técnica de selección de puntos de monitoreo, noviembre, 2024.

Helmer Omar Carvajal Suárez, ingeniero mecánico de la Universidad Industrial de Santander con especialización en

Gerencia de Proyectos, cuenta con más de 15 años de experiencia en el sector Oil & Gas. Ha liderado proyectos mecánicos, electromecánicos y de infraestructura. Ha desarrollado ingeniería conceptual, básica y de detalle, dominio de procesos de precomisionamiento, comisionamiento y puesta en marcha de equipos críticos. Actualmente se desempeña como líder de solución de control y regulación para INSURCOL SAS, brindando soporte especializado y articulación directa con fabricantes internacionales.

Adriana Carolina Garay Benítez, ingeniera en energía de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, con experiencia en soluciones tecnológicas para la transición energética y la descarbonización industrial. Actualmente se desempeña en INSURCOL S.A.S. como especialista en bajas emisiones y nuevas energías, participando en la estructuración de propuestas técnicas y comerciales, evaluación de tecnologías emergentes y articulación con fabricantes internacionales. Cuenta con formación complementaria en energías renovables, eficiencia energética y modelado arquitectónico.

Gustavo Carlos Molina Medina, es Ingeniero Químico y Especialista en Producción de Hidrocarburos de la Universidad Industrial de Santander, con más de 10 años de experiencia en el sector Oil & Gas. Se ha desempeñado como Ingeniero de Procesos en diferentes proyectos, desarrollando ingeniería conceptual, básica y de detalle. Cuenta con experiencia en metodologías de predicción de corrosión interna y externa y en la aplicación de técnicas electroquímicas para su detección, monitoreo y evaluación, orientadas a la integridad de activos. Actualmente se desempeña como Ingeniero de Procesos y como Especialista en Bajas Emisiones y Nuevas Energías.