

NUEVOS DESAFÍOS PARA LA PROTECCIÓN CATÓDICA EN UN MUNDO 4.0: ADOPTAR LA DIGITALIZACIÓN Y LA AUTOMATIZACIÓN PARA MEJORAR LA GESTIÓN DE LA CORROSIÓN

I. Magnifico, Automa Srl (Italia), ivano.magnifico@byautoma.com

Sinopsis

A medida que las industrias entran en la era de la Industria 4.0, la integración de tecnologías de vanguardia ha generado cambios transformadores en varios sectores.

La protección catódica (PC) ha sido reconocida desde hace mucho tiempo como un método eficaz para combatir la corrosión en estructuras metálicas, garantizando su longevidad y seguridad. Sin embargo, la integración de las tecnologías de la Industria 4.0 introduce nuevos desafíos a la gestión de PC convencional, con la necesidad emergente de adoptar la digitalización y la automatización para optimizar la gestión de la corrosión.

Con la proliferación de dispositivos interconectados, análisis de big data e inteligencia artificial, es necesario reevaluar los enfoques convencionales de protección catódica. Este artículo explora las oportunidades e implicaciones de la adopción de monitoreo remoto basado en IoT, análisis predictivo y control optimizado del sistema hasta sistemas autónomos en el ámbito de la protección catódica.

A través de una revisión exhaustiva de estudios de casos y tendencias de la industria, dilucidamos cómo adoptar los principios de la Industria 4.0 puede mejorar la eficiencia de la gestión de la corrosión, minimizar los costos operativos y extender la vida útil de los activos críticos. Al fusionar la experiencia en corrosión con la innovación digital, la protección catódica en un mundo 4.0 puede allanar el camino para infraestructuras más sostenibles y resilientes.

Introducción

La protección catódica es una técnica muy consolidada que se utiliza para evitar la corrosión de los metales, sobre todo en infraestructuras de transporte como oleoductos y gasoductos, y en estructuras marítimas. Sin embargo, con la evolución tecnológica del mundo 4.0, se pueden introducir mejoras significativas en esta técnica, aumentando la eficacia y la fiabilidad de la protección catódica. El objetivo de este artículo es examinar la evolución histórica de la protección catódica, la aplicación de tecnologías modernas, como la inteligencia artificial, y el concepto de "Protección catódica 4.0" para afrontar los retos del futuro.

Bases históricas de la protección catódica

Las raíces históricas de la protección catódica se remontan al 1824, cuando Sir Humphry Davy la presentó a la Royal Society de Inglaterra. Inicialmente, esta técnica estaba estrictamente relacionada con el sector marítimo, con el objetivo de proteger de la corrosión los cascos de los barcos recubiertos de láminas de cobre. La idea era utilizar ánodos galvánicos de hierro para proteger los cascos de cobre. Sin embargo, esta primera aplicación no tuvo mucho éxito porque la protección catódica, al proteger el cobre, impedía la liberación de iones de cobre al agua que deberían haber generado un efecto antiincrustante manteniendo las quillas limpias de organismos. Con la protección catódica, en cambio, estos organismos proliferaban, creando una resistencia inaceptable para el deslizamiento del barco en el agua.

Muchos nombres importantes de la ciencia han contribuido al desarrollo de la protección catódica a lo largo de las décadas. Michael Faraday, alumno de Davy, fue el primero en establecer una relación cuantitativa entre la pérdida de peso del metal por corrosión y la corriente eléctrica en 1834, sentando las bases de la aplicación moderna de la protección catódica. En 1890 Thomas Edison fue el primero en considerar la protección catódica por corriente impresa, aunque en aquella época se carecía de fuentes de corriente y materiales anódicos adecuados.

A principios de los años 30 en Estados Unidos la aplicación estructurada de la protección catódica en oleoductos y gasoductos de acero marcó el inicio de una importante evolución. En el siglo pasado se había producido numerosas innovaciones, como la mejora de los materiales utilizados, el desarrollo de ánodos de corriente impresa, otras aleaciones anódicas y, sobre todo, la protección pasiva con la evolución de los revestimientos. La recopilación de experiencias y estudios condujo a la publicación de las primeras normas técnicas, con todas las indicaciones relativas al diseño y seguimiento de las estructuras a las que se aplicaba la protección catódica.

A finales del siglo XX, la evolución de las telecomunicaciones marcó el inicio de la primera gran era de la digitalización con el desarrollo del monitoreo remoto de la protección catódica, con la ventaja de poder realizar mediciones de protección catódica a frecuencias más elevadas y de verificar a distancia que los trafos rectificadores (T/R) de protección catódica estuvieran siempre encendidos.

Evolución del monitoreo remoto

El monitoreo remoto en la protección catódica siempre ha estado influenciado principalmente por la evolución de las telecomunicaciones. Con la transición de las redes GSM a 2G, 3G, 4G hasta la actual 5G, el rendimiento de la tecnología ha mejorado considerablemente. La evolución de la tecnología también ha permitido el desarrollo de dispositivos que funcionan con baterías de muy bajo consumo, permitiendo así un monitoreo más amplio, y no solo limitado a los T/R de protección catódica o a aquellos lugares donde se disponía de una fuente de alimentación externa. Sino que también se hizo posible instalar dichos dispositivos a lo largo de las redes y en aquellos puntos donde la eficacia de la protección catódica era más crítica y, por tanto, el interés en disponer de un monitoreo continuo era mayor. Otro aspecto que se está haciendo fundamental en los dispositivos de monitoreo remoto con vistas a la digitalización y a la optimización de los recursos, es el uso de computación de borde, es decir, la capacidad de los dispositivos para procesar localmente la información recogida en campo con el fin de garantizar un primer nivel de inteligencia local que permita llevar a cabo acciones autónomas incluso en ausencia temporal del canal de comunicación remota.

En Italia este concepto en el monitoreo de la protección catódica se introdujo en 2008, cuando la normativa nacional exigió explícitamente que los dispositivos de monitoreo remoto recopilaran y procesaran los datos localmente antes de enviarlos. Esto permitió trabajar de forma más inteligente y autónoma, pudiendo recopilar más información y optimizando el envío de datos exclusivamente a la información significativa, con un impacto en el tiempo de comunicación y en la cantidad de datos transferidos, así como la consiguiente reducción de la energía utilizada para la comunicación.



Figura 1 - Estación de pruebas equipada con un pequeño panel solar

Esto ha allanado el camino para un seguimiento más detallado, facilitado también, por ejemplo, por la implantación de fuentes de energía renovables como los paneles solares (Fig.1) que permiten ampliar la funcionalidad de los dispositivos en campo, incluso con un beneficio medioambiental; de hecho, los paneles permiten reducir las emisiones de CO₂ equivalente en comparación con el uso de dispositivos alimentados por batería en un factor de 50 veces a lo largo de la vida útil de los dispositivos.

Uso de Big Data

Con la acumulación de datos procedentes de los sistemas de protección catódica, especialmente en el sector del gas, se ha hecho imprescindible gestionar la enorme cantidad de información recopilada y almacenada en Big Data. Esto ha llevado al desarrollo de herramientas de software avanzadas para analizar y representar visualmente los datos con el fin de obtener una visión inmediata del estado de la protección catódica. Actualmente, el uso de la inteligencia artificial se está convirtiendo en una parte integral del análisis de datos, con un aprendizaje automático basado en redes neuronales que permite predicciones más precisas.

Protección catódica 4.0

El proceso de renovación en curso requiere tantos avances tecnológicos como una mayor conciencia del hecho de que los recursos disponibles son limitados. Por lo tanto, incluso la protección catódica, por muy técnicamente establecida que esté, debe afrontar los retos de la digitalización, la automatización e incluso, cuando sea posible, la descarbonización.

Desde esta perspectiva, los aspectos que más pueden beneficiarse de la revolución tecnológica en curso son sin duda las actividades de mantenimiento y gestión de la protección catódica que a su vez pueden considerarse la versión 4.0.

Mantenimiento 4.0

El concepto de mantenimiento 4.0 trae consigo enfoques innovadores de la gestión de la protección catódica.

El primer aspecto innovador es el Gemelo Digital, una representación digital de la estructura a proteger (Fig. 2) que constituye una herramienta especialmente importante: una representación virtual y actualizada en tiempo real de la infraestructura física. Necesita datos de entrada bastante precisos:

- datos geométricos detallados;
- tipo de material del que está compuesta la estructura;
- tipo y características del revestimiento aplicado;
- datos operativos actualizados en tiempo real.

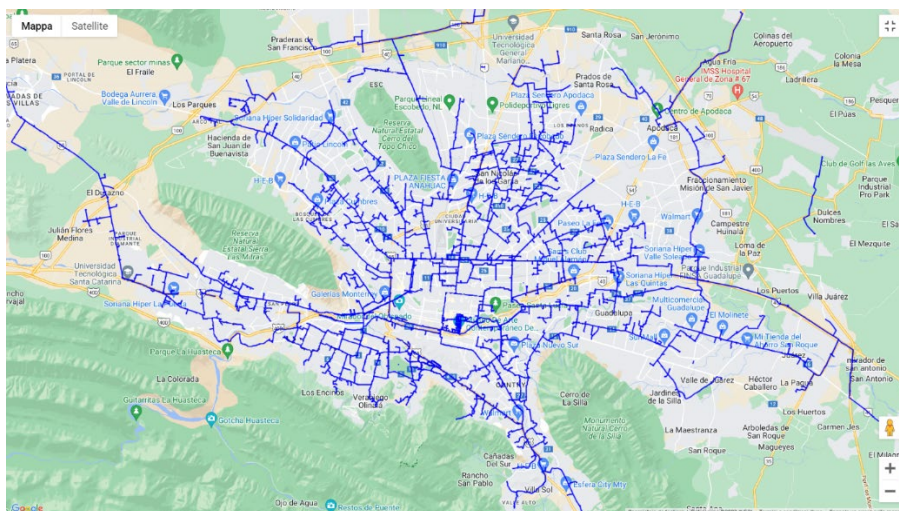


Figura 2 - Gemelo digital de una red de distribución de gas

Se trata, por tanto, de una réplica exacta del comportamiento y el estado de la estructura en un entorno digital. Este gemelo digital se actualiza en tiempo real y puede utilizarse para mejorar el análisis y predecir el comportamiento futuro de la estructura.

El gemelo digital permite el monitoreo continuo y la simulación del rendimiento, la integridad estructural y los parámetros operativos de los ductos. Mediante la integración de datos de monitoreo remoto, previsiones meteorológicas y otra información relevante, proporciona indicaciones de posibles problemas, lo que permite un mantenimiento proactivo y la optimización operativa. Así, el modelo también es capaz de funcionar prediciendo los efectos de cambios en las condiciones externas, como:

- Efectos de la variación de la resistividad del suelo;
- Efectos de la interferencia;
- Contacto con estructuras metálicas externas al sistema de PC;
- Mal funcionamiento del electrodo de referencia;
- Efectos de apantallamiento.

La mejora de los análisis permite identificar desviaciones de los modelos esperados, señalando condiciones de error antes de que se vuelvan críticas. La introducción de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático abre nuevas perspectivas para el mantenimiento predictivo; además, la recogida continua de datos y su uso para entrenar algoritmos permite la detección temprana de anomalías o problemas potenciales. Esto permite planificar las actividades de mantenimiento de forma más eficaz, minimizando el tiempo de inactividad, optimizando la asignación de recursos y mejorando la seguridad y fiabilidad general de la instalación.

Algunas de las anomalías que el gemelo digital puede predecir reconociendo modelos a partir de datos históricos son:

- Posibles fallos de funcionamiento de los alimentadores;
- Vida residual de los ánodos ICCP (ejemplo en Fig.3);
- Vida residual de los ánodos sacrificiales;
- Posibles fallos de drenaje;
- Posibles fallos de los dispositivos de desacoplamiento CC/CA.



Figura 3 – Ejemplo de duración residual de los ánodos ICCP en un alimentador

Parámetros clave para la protección catódica 4.0

Cuanto más datos contengan los *Big Data*, más eficazmente el sistema podrá predecir una avería:

- Cuanto más numerosos, precisos y exactos sean los parámetros controlados,
- mayor será la frecuencia de muestreo y la historización de los datos.

Generalmente nos centramos en el entrenamiento de redes neuronales y en algoritmos de análisis predictivo, pero éstos sólo pueden ser eficaces si los datos sobre los que operan son precisos, numerosos y están siempre disponibles. Por esta razón, la elección de los dispositivos electrónicos que se van a utilizar desempeña un papel igualmente crucial en la eficacia de los análisis predictivos. Para garantizar la eficacia de estos enfoques innovadores, es esencial tener en cuenta una serie de parámetros clave:

- Exactitud y precisión de la medición, que afectan a la fiabilidad del análisis y al tiempo necesario para identificar una condición de error (Fig. 4). Concretamente, la precisión permite:
 - Una mejor identificación de la evolución de la señal en el tiempo (reconocimiento más rápido de modelos),
 - Una mejor verificación del cumplimiento de los posibles umbrales (riesgo de anticipar o retrasar la predicción del evento).
- La frecuencia de muestreo de los datos, que afecta el tiempo necesario para identificar la condición de error.
- La disponibilidad de los datos, que afecta la capacidad de identificar la condición de error.

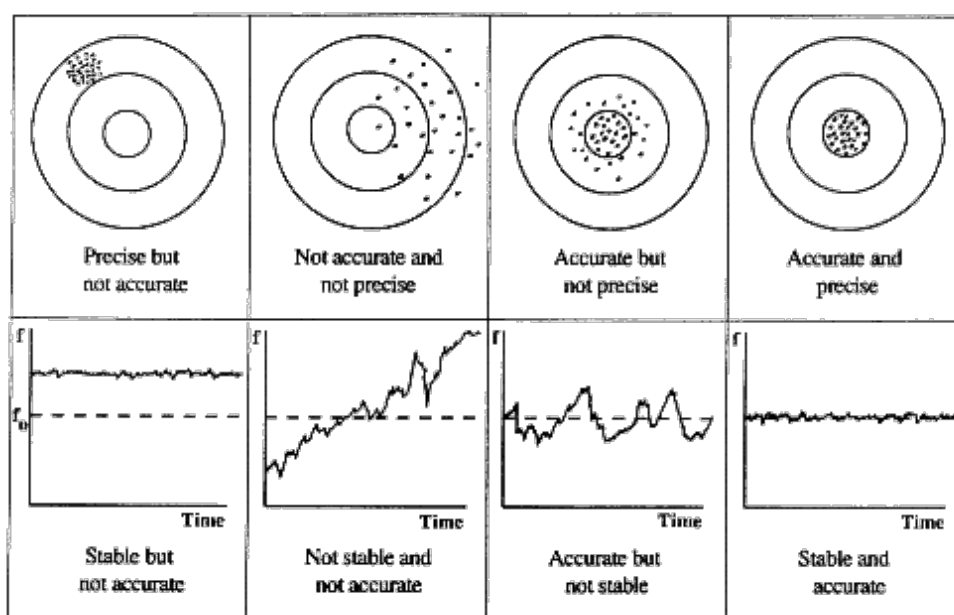


Figura 4 - Efectos de la exactitud y la precisión en las señales variables en el tiempo

Gestión 4.0

Cuando se trata de mejorar la gestión de los sistemas de protección catódica, uno de los aspectos con mayores beneficios en diversos ámbitos es, sin duda, la optimización de la alimentación de los alimentadores de protección catódica. Siempre y cuando, por supuesto, se garantice una protección catódica eficaz mediante la correcta medición de los potenciales IR-Free a lo largo de la estructura metálica a proteger, se obtienen los siguientes beneficios:

- Al reducir el consumo de energía superflua, disminuye tanto el consumo eléctrico como las emisiones de CO₂ equivalentes desde una perspectiva económica;
- Al reducir las corrientes circulantes en el suelo, disminuyen también los efectos de interferencia mutua entre distintos sistemas de protección catódica, con una posibilidad adicional de gestión optimizada.

Actualmente se están realizando pruebas piloto en sistemas de protección catódica en los que:

- El rectificador está equipado con un electrodo de referencia permanente, por lo que puede funcionar en modo "local" automático: el rectificador modifica su corriente de salida para mantener el potencial ON local constante en el valor de consigna deseado;

- El rectificador permite el control remoto;
- En el sistema de protección catódica hay un punto de medición remoto equipado con una fuente de alimentación externa (caja solar) y una probeta para mediciones IR-Free;
- Al elegir el punto de medición del sistema de PC con el potencial menos negativo, el rectificador modifica su corriente de salida para mantener el potencial remoto IR-Free constante en el punto de consigna.

A continuación, se ofrece información de una prueba de campo en curso para evaluar la eficacia de este tipo de regulación:

- Características de la prueba:
 - Red de distribución de gas,
 - El sistema de PC se ve afectado por las interferencias de CC de los ferrocarriles,
 - Alimentador equipado con control remoto y ajustado en modo automático (potencial constante con corriente de base),
 - Punto de medición equipado con caja solar y probeta para mediciones IR-Free.
- Resultados de las pruebas (aún en curso):
 - Corriente de salida del rectificador: de 9,5 A a 6,5 A (-31,5 %),
 - El punto de medición de destino (Fig. 5) y todos los otros puntos de medición de PC protegieron de manera eficaz,
 - La corriente mínima sigue siendo demasiado alta, se puede mejorar el ajuste.

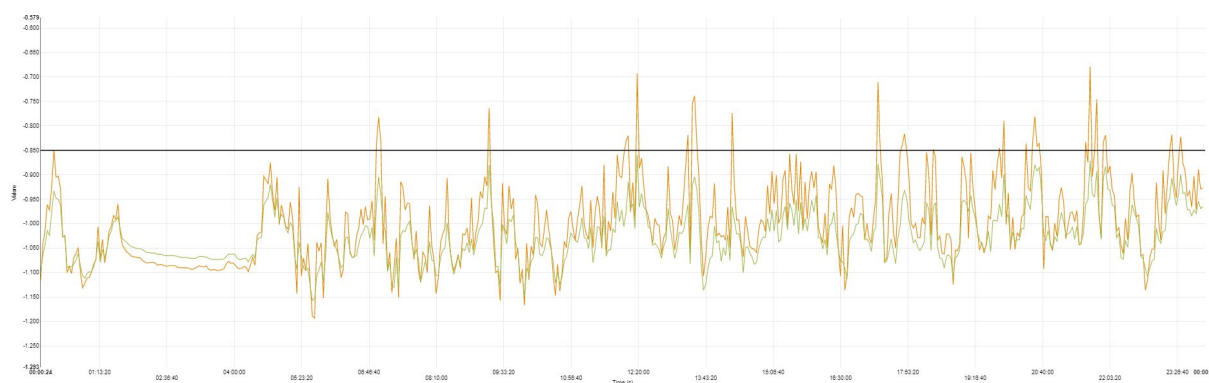


Figura 5 – Evolución durante 24 horas del perfil de potencial del punto de medición identificado

Ampliando este comportamiento a todo el sistema de protección catódica y con la introducción de la inteligencia artificial, podemos pasar a la regulación dinámica de un sistema de protección catódica para un conducto subterráneo:

- El objetivo de la regulación es garantizar la eficacia de la protección catódica en todo el sistema suministrando la cantidad mínima de corriente requerida por los rectificadores;
- Todos los rectificadores deben estar equipados con control remoto y el punto de medición debe estar equipado con probetas para realizar mediciones de potencial IR-Free;
- El análisis IA del Gemelo Digital puede procesar el comportamiento de todo el sistema de protección catódica, incluso en presencia de corrientes vagabundas no estacionarias;
- Basándose en las mediciones de potencial IR-Free, la AI puede ajustar y equilibrar todos los rectificadores del sistema para alcanzar el objetivo.

Conclusiones

Hemos visto cómo la integración de la tecnología y la evolución hacia un mundo 4.0 introducen nuevos y emocionantes retos incluso para una técnica establecida como la protección catódica. Por tanto, la necesidad emergente de adoptar la digitalización y la automatización para optimizar la gestión de la corrosión podría tener un impacto no desdeñable en la reducción de las emisiones de CO₂ relacionadas con la gestión de la protección catódica.

Además, la adopción de los principios de la Industria 4.0 puede mejorar la eficiencia de la gestión de la corrosión con un impacto significativo en la reducción de los costes operativos y la prolongación de la vida útil de los activos críticos. Combinando la experiencia en corrosión y la innovación digital, la protección catódica en un mundo 4.0 puede, por tanto, allanar el camino hacia infraestructuras más sostenibles y resilientes.

Breve Cv

Título y lugar de estudio: graduado con honores en Ingeniería Electrónica, “Università Politecnica delle Marche”, Ancona

Trayectoria: Automa srl

Cargo actual en la empresa: Product Manager Office Director

Director de Oficina de Product Manager en Automa srl, una empresa italiana centrada en el Desarrollo de Hardware y Software para la automatización y con una larga experiencia en soluciones de Monitorización Remota y Control Remoto para la Protección Catódica. Miembro de grupos de trabajo de organizaciones de normalización italianas (UNI), europeas (CEN) y mundiales (ISO, AMPP) en materia de protección catódica.

Técnico Superior de Protección Catódica Certificado Lvl 3 según el esquema UNI EN ISO 15257:2017.