Por ***Esteban Marascio*** y ***Germán Mancuso*** (Transportadora de Gas del Norte)

Este trabajo fue seleccionado del 6° Congreso de Integridad y Corrosión en la Industria del Petróleo y del Gas y resultó ganador del Premio Jóvenes Profesionales realizado en el marco del Congreso.

Gestión integral de la protección anticorrosiva en la era digital:

monitoreo remoto, aplicaciones móviles, análisis en tiempo real y predicción de tendencias mediante algoritmos de aprendizaje automático

El artículo presenta un modelo digital para gestionar la protección catódica en sistemas de transporte de gas. Integra monitoreo remoto, aplicaciones móviles, analítica en tiempo real y una arquitectura de datos escalable. Una solución que mejora la trazabilidad, fortalece la confiabilidad de la información y habilita el análisis predictivo.

La evolución de la tecnología de la información ha permitido avances significativos en los sistemas convencionales de protección catódica, en los cuales, históricamente, la infraestructura de gestión de datos no ocupaba un rol central. Esta situación se vuelve aún más crítica cuando el volumen de información generada supera la capacidad humana de procesamiento, dando lugar a posibles errores, corrupción de datos e interpretaciones incorrectas de la situación real. En este contexto, la calidad de las técnicas de campo aplicadas, la capacitación de los profesionales y la experiencia adquirida a lo largo de los años pierden valor si los datos obtenidos no son confiables.

Por lo tanto, la integridad de los datos se posiciona como un pilar fundamental en cualquier sistema de información. Esta integridad comprende la exactitud, consistencia y confiabilidad de los datos almacenados y procesados. Su importancia radica en que permite una toma de decisiones precisa, facilita el cumplimiento normativo, especialmente para empresas como TGN, reguladas por autoridades nacionales y sujetas a la presentación de información bajo declaración jurada, contribuye a la eficiencia operativa al reducir errores y costos adicionales, respalda el análisis y la planificación estratégica mediante la identificación confiable de tendencias y patrones y, en última instancia, garantiza la seguridad de la información, evitando riesgos económicos, operativos y legales para la organización.

En TGN, las principales actividades de recolección de datos en campo relacionadas con la protección catódica incluyen, la medición de potenciales ON/OFF a intervalos kilométricos, la medición e inspección de rectificadores de corriente, la medición de probetas o cupones de corrosión, la medición de potenciales en singularidades, tales como caños camisa, estaciones de mitigación de interferencias, ramales, entre otros, y la ejecución de estudios especializados como CIS, DCVG y mediciones de resistividad del suelo, entre otros.

La recolección de datos comienza con la emisión de órdenes de trabajo, instrucción formal y estandarizada que autoriza a los operadores de campo a ejecutar tareas específicas conforme a los protocolos operativos establecidos, dirigidas a los operadores de campo, quienes, siguiendo los procedimientos definidos, recopilan información de rectificadores y potenciales ON/OFF a lo largo de 11.000 km de gasoductos y más de 350 rectificadores.

Inicialmente, la captura de datos se realizaba de forma manual en formularios en papel, lo que exponía al proceso a riesgos de errores durante la escritura y la posterior transcripción a planillas digitales compatibles con el sistema SAP, que actúa como base de datos corporativa. Si bien el sistema SAP garantizaba un almacenamiento confiable y seguro, persistían vulnerabilidades durante las etapas de análisis y ejecución, donde el uso de planillas generaba riesgos de manipulación no controlada, falta de trazabilidad de los datos y ausencia de cálculos automatizados. Asimismo, los relevamientos especiales carecían de formatos estructurados, lo que dificultaba la integración de la información. Estos factores pusieron en evidencia oportunidades de mejora en todas las etapas del proceso, orientadas a fortalecer la confiabilidad, eficiencia y estandarización del sistema de gestión de datos.

Históricamente, el flujo de información seguía el esquema presentado en la Figura 1.

Desarrollo

Metodología de trabajo

El análisis revela diversas vulnerabilidades en el proceso de gestión de la información de protección catódica. Entre los principales problemas se identifican la ausencia de datos estructurados y estandarizados, lo que dificulta su recuperación y utilización, la baja calidad de los datos con registros incompletos, inexactos o duplicados, el acceso limitado a la información que restringe la colaboración entre equipos, una infraestructura inadecuada para gestionar grandes volúmenes de datos, una

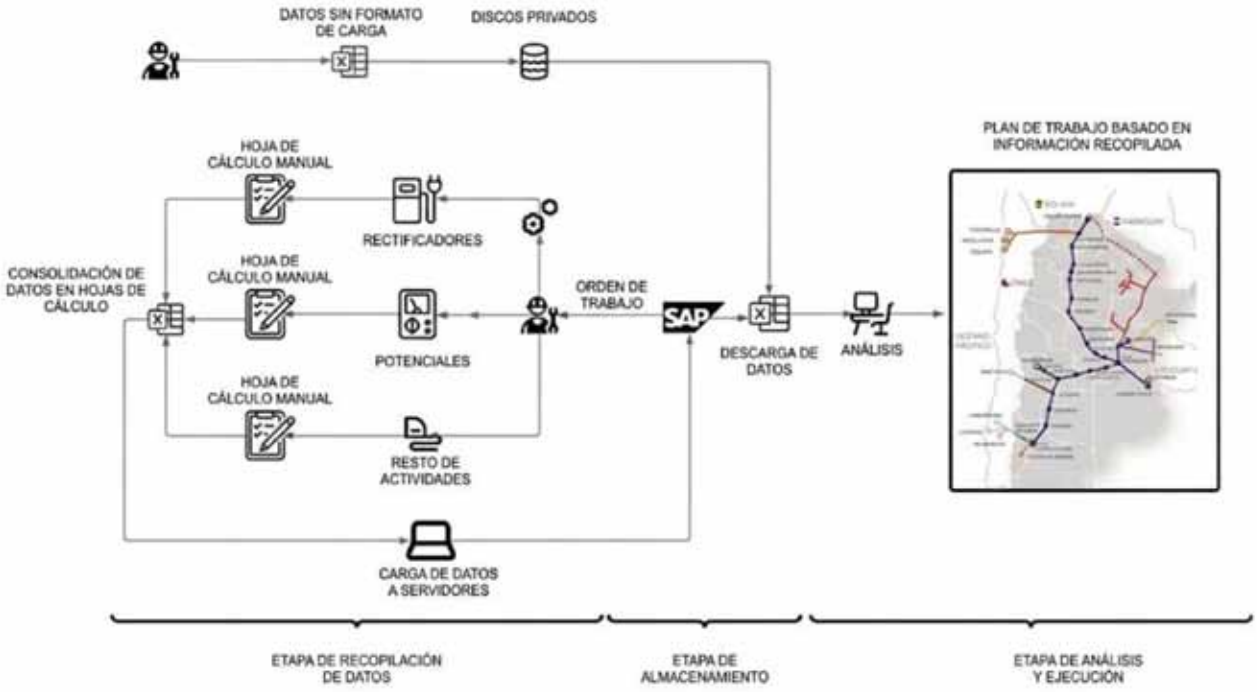

Figura 1. **Flujo de información histórico en TGN.**

fuerte dependencia de procesos manuales propensos a errores y demoras, y una capacitación y concientización insuficientes del personal respecto de las mejores prácticas en gestión de datos.

El proceso de modernización de la gestión de datos en los sistemas de protección catódica de TGN se estructuró en cuatro etapas principales, diagnóstico de la situación actual, diseño de la solución tecnológica, implementación de un nuevo esquema de recolección, almacenamiento y análisis de datos, e integración con una plataforma de análisis de datos y Machine Learning para análisis predictivo.

En primer lugar, se realizó un diagnóstico integral mediante entrevistas con personal de campo y responsables técnicos. Esta evaluación puso en evidencia problemas clave, dificultades para acceder e identificar puntos de medición, falta de trazabilidad en los datos recolectados, errores de transcripción manual y ausencia de un almacenamiento de información estandarizado. Asimismo, se hizo evidente la necesidad de contar con información actualizada sobre las instalaciones y de mejorar la eficiencia en la gestión de las operaciones de campo.

Para abordar estas problemáticas, se desarrolló una solución basada en una aplicación móvil nativa para Android integrada con el sistema SAP, con capacidad de funcionamiento tanto en modo online como offline. Los requisitos principales de esta herramienta incluyeron compatibilidad con distintos dispositivos móviles, sincronización automática con la base de datos corporativa, geolocalización del personal de campo, visualización cartográfica de las instalaciones, asignación de responsabilidades de medición y acceso extendido para personal externo cuando fuera necesario.

Durante la implementación, se estableció un flujo de información que comienza con la generación de órdenes de trabajo, continúa con la captura de datos en campo mediante dispositivos móviles y finaliza con la sincronización automática de datos en tiempo real. Este esquema permitió integrar múltiples funcionalidades, tales como la visualización inmediata de gráficos de potenciales ON/OFF a lo largo de los gasoductos, el reporte automático de anomalías de polarización y necesidades de mantenimiento, el registro de singularidades, el monitoreo de indicadores clave de desempeño, KPIs, el acceso histórico a la evolución de los potenciales de protección catódica y la posibilidad de compartir información a través de canales corporativos.

Finalmente, como cuarta etapa, se desarrolló una estrategia para conectar la base de datos a una plataforma en la nube con capacidades de análisis de datos y Machine Learning. Esta plataforma permite el procesamiento en tiempo real de los datos recolectados en campo, la identificación de patrones de comportamiento en las variables de protección catódica, la predicción de fallas potenciales y el soporte a la toma de decisiones mediante modelos predictivos. La arquitectura de integración incorpora mecanismos automatizados de actualización, esquemas robustos de seguridad y escalabilidad para acompañar el crecimiento futuro del volumen de datos.

Etapa 1. Modernización de Rectificadores, Monitoreo Remoto

El monitoreo remoto en sistemas de protección catódica, CP, permite la supervisión continua y automatizada de variables críticas tales como potenciales eléctricos, corriente de salida, estado de drenajes y señales de electrodos de referencia. Esta tecnología fortalece la gestión de integridad al posibilitar la detección temprana de anomalías, reducir la necesidad de intervenciones en campo y asegurar el cumplimiento de los estándares regulatorios.

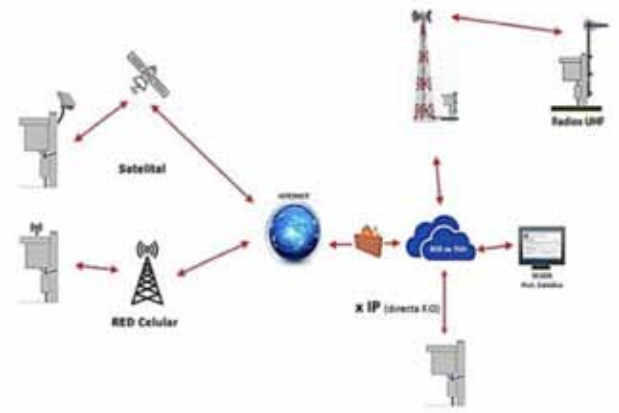

Figura 2. **Conectividad del sistema de monitoreo remoto.**

Los gasoductos operados y mantenidos por TGN se encuentran distribuidos a lo largo de casi todo el territorio argentino. Esta amplia cobertura geográfica impide la adopción de una única tecnología uniforme de transmisión de datos. En consecuencia, deben contemplarse distintos métodos de conexión, seleccionados en función de la disponibilidad y factibilidad técnica en cada región, a fin de garantizar la continuidad y confiabilidad de los sistemas de monitoreo remoto de CP.

Para afrontar este desafío, TGN desarrolló una tecnología de comunicación propietaria que se adapta a los requerimientos específicos de transmisión de datos determinados por las características regionales. La conectividad de los rectificadores se clasifica esquemáticamente según el tipo de tecnología de transmisión de datos disponible en cada zona, tal como se muestra en la Figura 2.

La implementación de tecnologías de transmisión versátiles, tales como enlaces satelitales, redes celulares, radio UHF y conexiones IP directas, permite adaptar el sistema de monitoreo remoto a las condiciones geográficas y de infraestructura de cada región. Esta flexibilidad garantiza la operación ininterrumpida del monitoreo remoto, incluso en áreas remotas o con baja conectividad.

Etapa 2. Desarrollo Interno de una Aplicación para Recolección de Datos en Campo

Las operaciones de campo son ampliamente reconocidas por presentar diversos desafíos, que afectan tanto al personal experimentado como a aquellos que no están familiarizados con el área geográfica en la que deben desempeñarse. En muchos casos, resulta esencial identificar correctamente las rutas de acceso a los puntos de medición, sin embargo, no siempre se dispone de personal con conocimiento de la geografía local, lo que genera ineficiencias operativas. Esta situación se ve agravada por el uso de formularios en papel para el registro de mediciones, lo que introduce incomodidades, demoras y falta de trazabilidad, factores que pusieron en evidencia la necesidad de modernizar y optimizar los procesos de adquisición de datos de la compañía.

Para abordar estas problemáticas, se hizo necesario centralizar toda la información relevante en una plataforma digital única e integrada. Con este propósito, se definió un conjunto de requisitos esenciales para el nuevo sistema de captura de datos. Entre ellos se incluyeron la compatibilidad con una amplia gama de dispositivos móviles, la sincronización instantánea con las bases de datos corporativas, la trazabilidad continua de los datos recolectados, la geolocalización del personal de campo, la representación geoespacial de la infraestructura, la asignación de responsabilidades de recolección de datos, la capacidad de operar en modo offline y la posibilidad de ser utilizada por personal externo cuando fuera requerido.

Ante la inexistencia de una plataforma comercial capaz de satisfacer estos requisitos de manera integral, la empresa optó por desarrollar una aplicación interna, diseñada específicamente para el sistema operativo Android, con el objetivo de dar respuesta a las necesidades identificadas.

El flujo de gestión de datos implementado en el marco de esta iniciativa se presenta en la Figura 3.

En la figura 4, se muestra la interfaz gráfica de la APP desarrollada.

La interfaz gráfica consiste en un mapa en el que se encuentran representadas las trazas de los ductos y las estructuras que deben ser medidas, todas debidamente geolocalizadas. Esto permite al personal de campo identificar con claridad el punto de medición correspondiente y, en caso de detectar alguna discrepancia entre la información del sistema y la realidad en terreno, reportar el desvío para su posterior corrección y actualización de la base de datos.

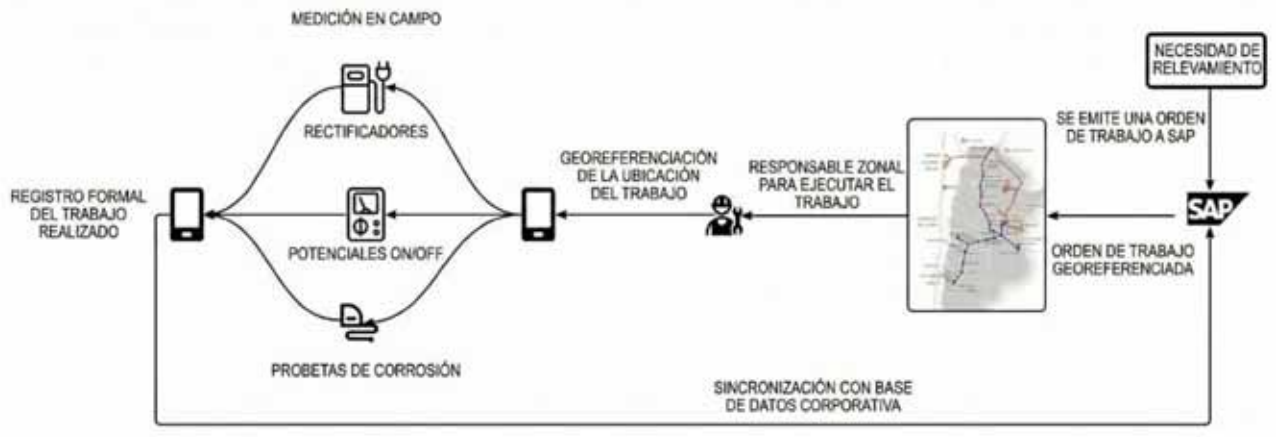

Figura 3. **Gestión de datos mediante una APP móvil.**

Figura 4. **Interfaz de la APP móvil diseñada por TGN.**

Se puede observar que el sistema únicamente permite al personal cargar un valor cuando el punto de medición se encuentra dentro de un radio de 10 metros (zona roja). Esta condición actúa como validación geoespacial, garantizando que el dato ingresado corresponda efectivamente al punto de medición en cuestión y evitando cargas asociadas a ubicaciones incorrectas.

Etapa 3. Sistema Automatizado para el Cálculo y la Visualización de Datos

Como licenciataria del servicio de transporte de gas, TGN se encuentra sujeta a la legislación nacional y, en particular, al marco regulatorio establecido por ENARGAS, ente regulador nacional del gas. Dentro de este marco se define una serie de indicadores técnicos de calidad que cada licenciataria debe cumplir. Entre ellos se encuentra el indicador de calidad de protección catódica, el cual debe calcularse anualmente y presentarse ante la autoridad competente.

Este indicador contempla diversos parámetros, entre los que se incluyen los potenciales ON/OFF relevados, los potenciales naturales registrados, las probetas de corrosión instaladas, el monitoreo remoto del sistema de protección catódica, las corridas de inspección en línea, ILI, y los estudios CIS, Close Interval Survey, y DCVG, Direct Current Voltage Gradient, realizados a lo largo del sistema.

La metodología propuesta por el regulador argentino para el cálculo de los indicadores de calidad da como resultado una métrica de desempeño, ofreciendo una herramienta eficaz para la gestión de sistemas de protección catódica de gran escala.

La Figura 5 presenta el flujo de información anterior a la implementación del nuevo sistema.

El flujo de información, aunque conceptualmente simple, genera grandes volúmenes de datos, lo que incrementa el riesgo de errores involuntarios y la presentación de informes inexactos. Esta problemática se ve agravada por el uso de numerosas planillas de cálculo y por la

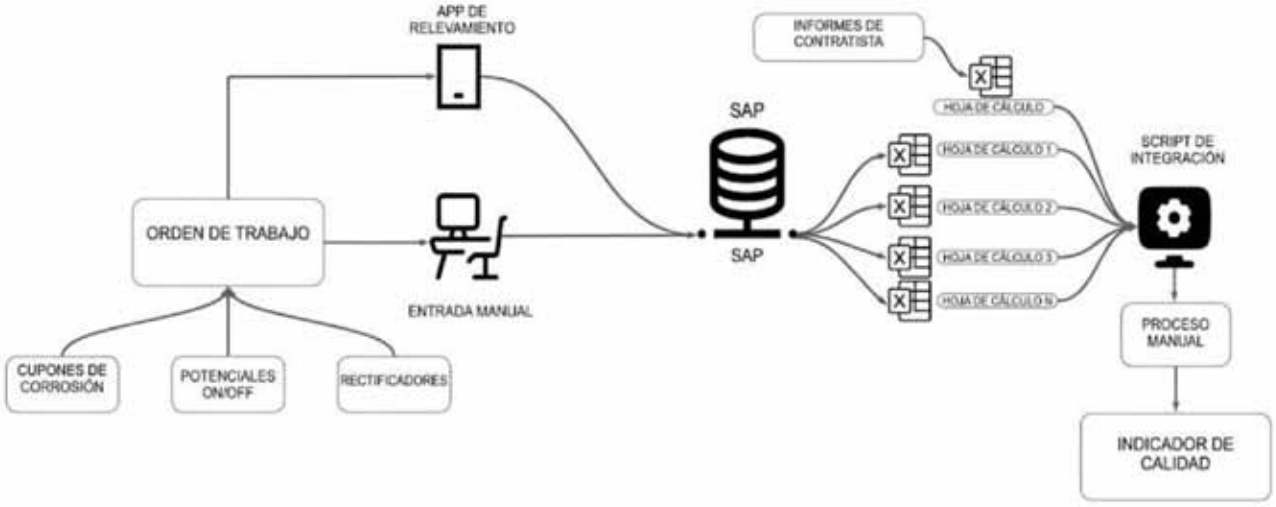

Figura 5. **Proceso histórico de datos en TGN.**

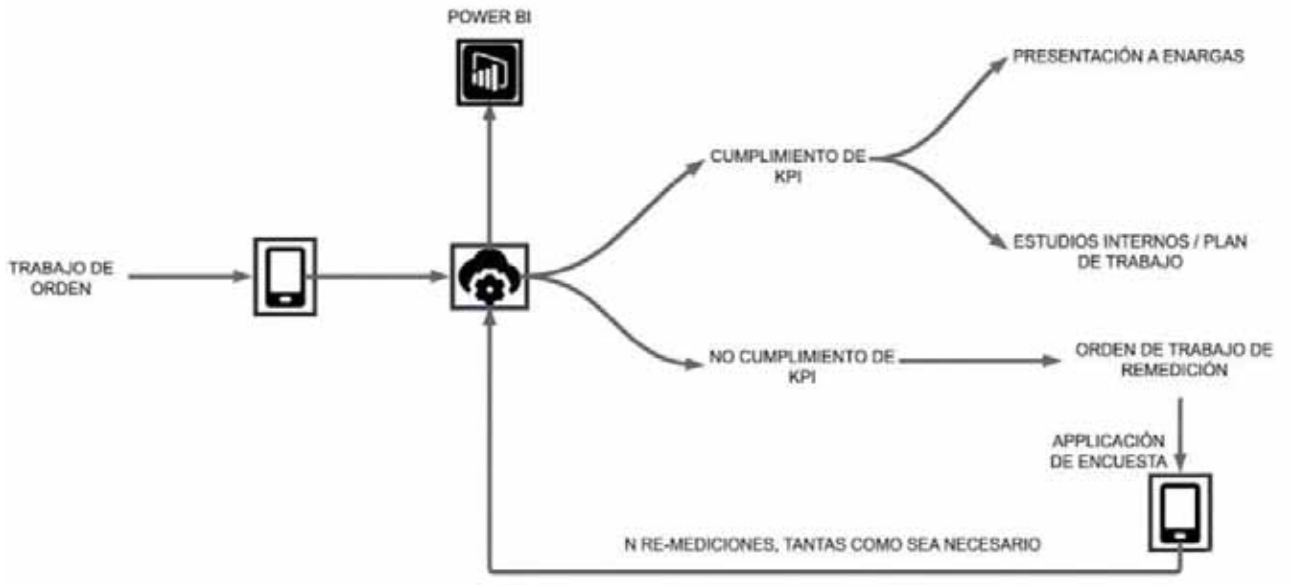

Figura 6. **Nuevo proceso de datos en TGN.**

posibilidad de que la información recolectada en campo sea interpretada o representada de manera incorrecta por el personal operativo.

En virtud de las situaciones mencionadas, se decidió implementar un sistema automatizado, cerrado y completamente trazable, con el objetivo de prevenir problemas de integridad de datos. Para ello, el sistema fue diseñado con las siguientes características:

- Trazabilidad total, garantizando que los datos registrados no puedan ser modificados por ningún usuario.
- Restricción geográfica para la modificación de datos, permitiendo cambios únicamente cuando el usuario se encuentre a menos de 10 metros del punto de medición.
- Generación automatizada de reportes, posibilitando la emisión oportuna y libre de errores de los informes.
- Interoperabilidad de datos, permitiendo que la información pueda ser compartida y consumida por otros sistemas de software.

El desarrollo de esta herramienta se llevó a cabo utilizando SAP, aprovechando su rol como base de datos corporativa. El sistema fue construido de acuerdo con la metodología definida por la autoridad regulatoria argentina para el indicador de calidad de protección catódica. En consecuencia, la herramienta se ha convertido en una solución integral de gestión de la protección catódica.

La Figura 6 describe el flujo de información implementado en este sistema.

Visualización de datos

La visualización y comprensión de la información es tan importante como el análisis de los datos en sí mismo. Una presentación deficiente puede generar confusión y pérdida de tiempo durante la etapa final de análisis. Por este motivo, se adoptó como herramienta de visualización final Microsoft Power BI.

Mediante esta herramienta, los datos pueden gestionarse de manera intuitiva y ágil, proporcionando acceso inmediato a la información. Además, se encuentra conectada a la base de datos corporativa, donde se calculan los KPIs regulatorios mencionados anteriormente, lo que permite disponer de un tablero global para la gestión del sistema de protección catódica de la compañía.

Finalmente, la posibilidad de vincular herramientas geográficas, tales como ArcGIS Pro, permite la visualización geográfica punto por punto de las ubicaciones de medición.

La Figura 7 muestra un ejemplo del sistema implementado.

El desarrollo e implementación de la nueva aplicación de recolección de datos ha logrado avances significativos en la gestión y el análisis de la información de protección catódica. Entre sus principales funcionalidades se destaca la visualización instantánea de gráficos de potenciales ON, OFF y naturales para la totalidad de los gasoductos de la compañía, eliminando la necesidad de acceso manual a bases de datos, ya que la información se actualiza automáticamente con cada ingreso realizado en campo. Esta implementación permitió eliminar el uso de planillas Excel para la interpretación y análisis de datos de protección catódica, centralizando la información en un entorno integrado, reduciendo la manipulación manual de datos y reduciendo drásticamente los tiempos de análisis.

Adicionalmente, se integró un sistema automático de reportes para señalar puntos de medición que presentan baja polarización, junto con un relevamiento de necesidades de mantenimiento, proporcionando así un estado actualizado de todas las instalaciones de campo. La aplicación también simplifica el estudio detallado de anomalías críticas, tales como caños camisa, ramales y cruces ferroviarios. Asimismo, permite el cálculo y la

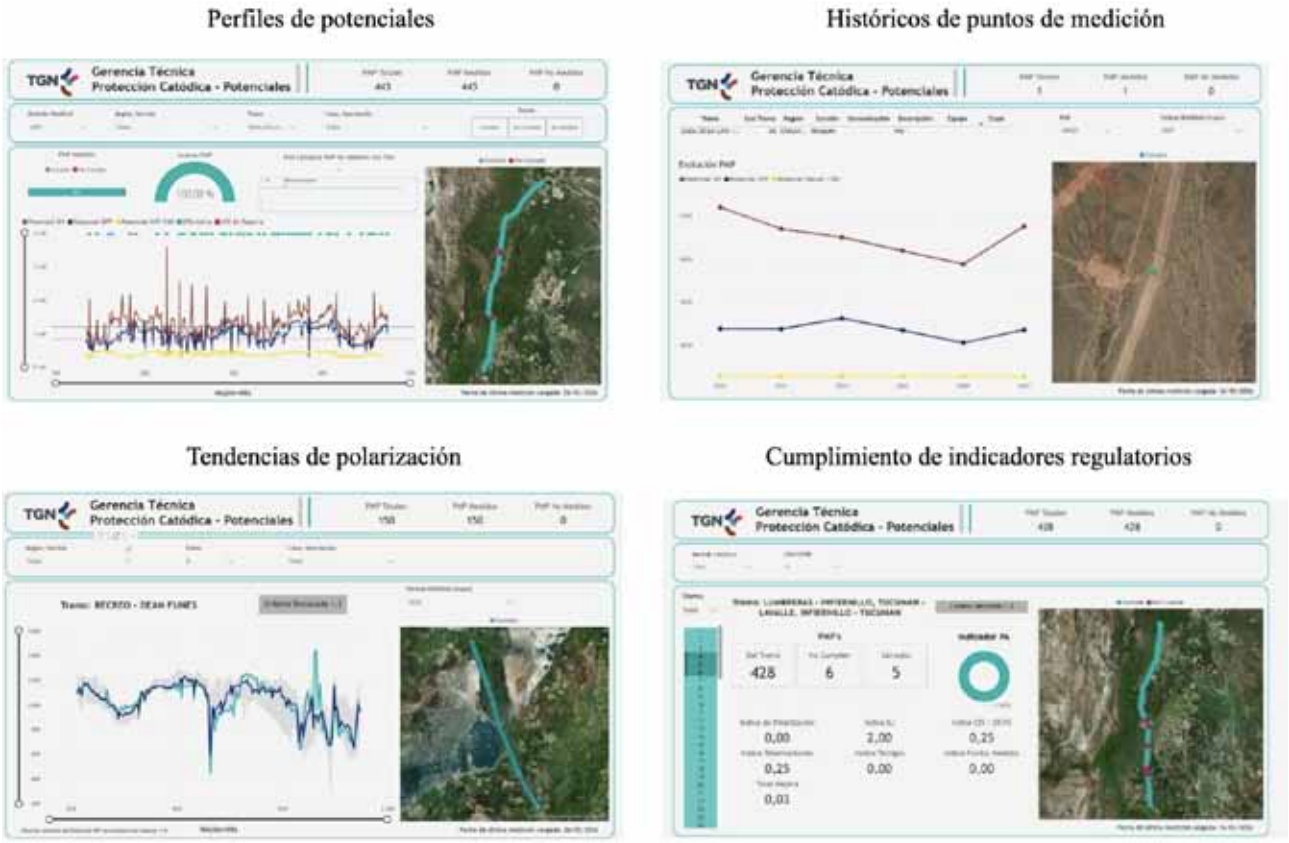

Figura 7. **Tablero Power Bi de administración de datos.**

visualización de los principales indicadores de calidad, KPIs, establecidos por el regulador argentino, desagregados por tramo de gasoducto. Finalmente, la plataforma conserva el historial completo de los relevamientos de TGN, posibilitando análisis profundos del comportamiento de los potenciales a lo largo del tiempo. La información puede ser accedida a través de canales corporativos para respaldar análisis de tendencias.

Etapa 4. Plataforma de analítica de datos y Machine Learning

La analítica de datos y el Machine Learning constituyen herramientas fundamentales para transformar datos en información de valor. Permiten procesar grandes volúmenes de información, detectar patrones, identificar anomalías y predecir comportamientos de manera automatizada.

Se decidió implementar esta tecnología en la nube, utilizando un proveedor reconocido, a fin de garantizar alta disponibilidad y capacidad de procesamiento bajo demanda. Para la integración, se diseñó una arquitectura de desarrollo local que vincula la base de datos corporativa, SAP, y los servidores SQL donde se almacena la información proveniente del monitoreo remoto, con la nube del proveedor.

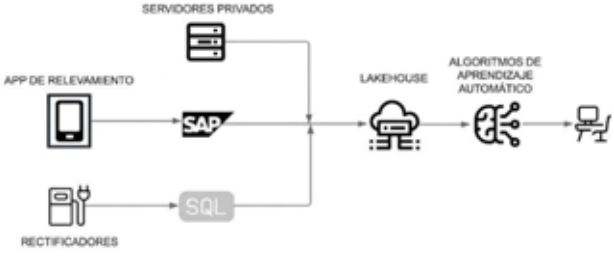

Figura 8. **Flujo de la información hacia el LakeHouse**

El objetivo principal fue construir un Lakehouse integral que centralice toda la información, asegurando su disponibilidad para un amplio espectro de usuarios y facilitando su integración en modelos predictivos basados en analítica de datos y Machine Learning.

La Figura 8 muestra el flujo de información del proceso descrito.

La implementación de la arquitectura en la nube permitió la utilización de diversas fuentes de información, tales como servidores privados con distintos formatos de archivo, bases de datos SAP y bases de datos estructuradas de tipo SQL. Asimismo, posibilita la interacción con APIs externas y con información proveniente de diferentes fuentes de origen.

A continuación, se describen algunos proyectos que se están desarrollando en materia de datos y machine learning:

Alineación automática de datos

Un ejemplo de la versatilidad del sistema y de sus capacidades de análisis de datos puede observarse en evaluaciones de integridad de gasoductos, donde los datos de ILI, número acumulado y densidad de defectos, pueden alinearse y combinarse con el monitoreo remoto en tiempo real de la protección catódica, incluyendo co-

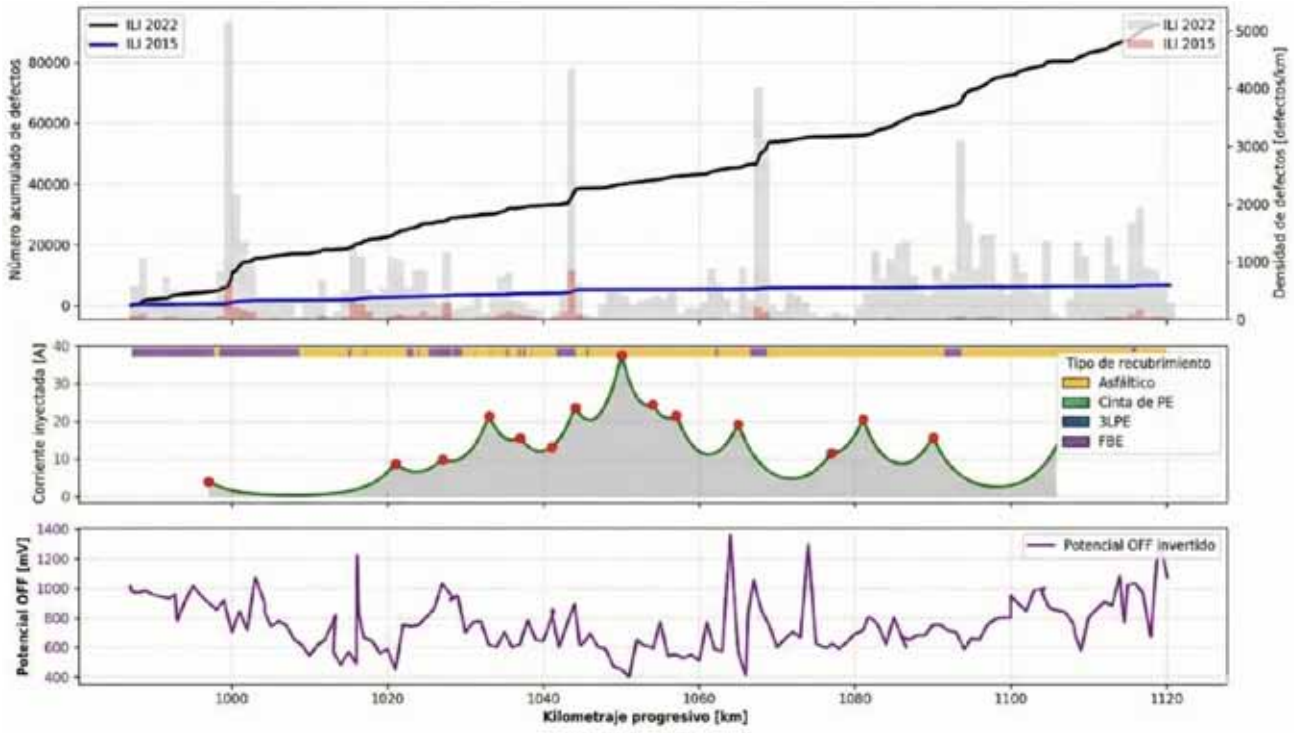

Figura 9. **Ejemplo de alineación de datos.**

rriente inyectada y potenciales ON/OFF registrados con frecuencia diaria, así como con mediciones de potenciales ON/OFF recolectadas durante relevamientos de campo mediante aplicaciones móviles.

La Figura 9 ilustra la alineación de datos provenientes de distintas fuentes, con el objetivo de realizar una evaluación de integridad de un gasoducto de más de 100 km de longitud.

Los datos y visualizaciones pueden compartirse a través de tableros de Microsoft Power BI para su fácil interpretación y se encuentran disponibles para cualquier miembro del personal técnico mediante los canales corporativos.

Capacidad de integrar datos externos

Otro ejemplo de la versatilidad en el procesamiento de información lo constituyen los estudios realizados sobre la dependencia de la resistencia de puesta a tierra en dispersores superficiales y profundos en función de la humedad superficial del suelo. Esta última fue determinada utilizando datos proporcionados por la familia de satélites Sentinel-5, del programa Copernicus Atmosphere Monitoring Service.

Los datos suministrados por CAMS se presentan en formato geoespacial, por lo que resulta necesario realizar un preprocesamiento de la información antes de correlacionarla con los datos internos de la compañía.

La Figura 10 presenta más de 2 millones de registros provenientes del sistema de monitoreo remoto, correspondientes a más de 350 unidades rectificadoras de corriente continua. En ella se muestra la resistencia de puesta a tierra de dispersores superficiales, a la izquierda, y de dispersores profundos, a la derecha, en función de la humedad diaria del suelo reportada por el programa

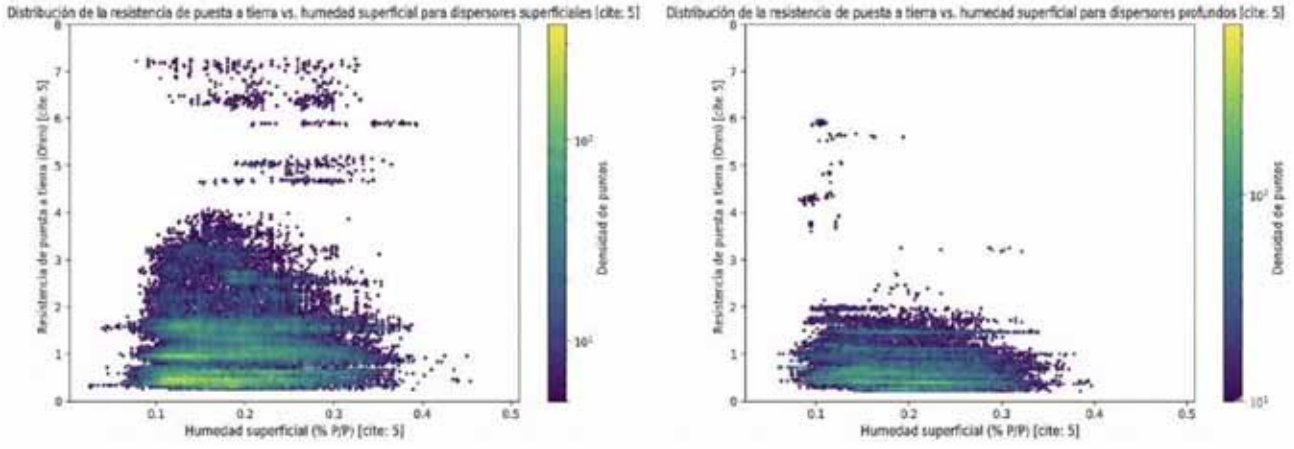

Figura 10. **Dependencia de la resistencia con la humedad.**

CAMS, correspondiente a la ubicación de cada unidad rectificadora.

Tal como lo predice la teoría, los dispersores superficiales son más susceptibles a las variaciones estacionales que los dispersores profundos. En el gráfico presentado se observa una clara dependencia entre la humedad del suelo y la resistencia de los dispersores superficiales, mientras que en los dispersores profundos la resistencia se mantiene relativamente constante.

Mas allá que el espíritu de este trabajo no es demostrar tendencias físicas, el ejemplo expuesto refleja el tipo de análisis que esta tecnología permite y el potencial de desarrollo en investigación que promueve. No solo es posible correlacionar información local, sino también integrar datos provenientes de APIs externas, ampliando significativamente las capacidades analíticas e interpretativas.

Alerta temprana de potenciales de protección catódica

La alineación y depuración de los datos, junto con la incorporación de información externa relevante, permiten contar con un entorno consistente y con la base de datos necesaria para comenzar a evaluar distintos algoritmos de machine learning, con el objetivo de estimar y proyectar valores de potencial de protección catódica.

En este caso, explicaremos el modelo ARIMA (modelo el cual se está estudiando para su implementación de forma productiva) , que puede aplicarse al análisis de potenciales de protección catódica cuando se dispone de registros históricos continuos (ON, OFF). Desde el punto de vista estadístico, considera que el valor actual del potencial está parcialmente explicado por sus valores anteriores, algo coherente con la inercia electroquímica del sistema, siempre y cuando todas las variables externas se mantengan constante.

No requiere incorporar variables físicas adicionales, trabajando únicamente con la evolución temporal del potencial medido. Genera proyecciones futuras acompañadas de intervalos de confianza estadísticos, útiles para evaluación preventiva. Puede emplearse para identificar desvíos respecto de la respuesta histórica esperada del sistema.

En este marco, constituye una herramienta analítica complementaria para apoyar decisiones de monitoreo y mantenimiento predictivo en protección catódica, así como también un algoritmo capaz de retroalimentar al personal de campo, posibilitando la generación de alertas tempranas al momento de realizar las mediciones de potencial de protección catódica.

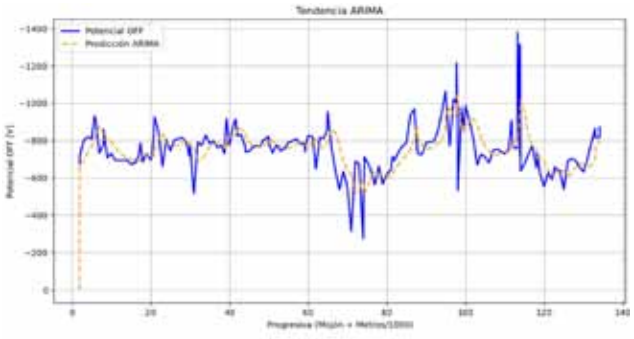

Figura 11. **Estimaciones obtenidas del modelo ARIMA.**

En base a las premisas anteriormente detalladas, se presenta en la Figura 11 un modelo ARIMA desarrollado para predecir el potencial OFF de un ducto de más de 120 km de extensión. Para su implementación, el modelo fue entrenado utilizando datos históricos de polarización del ducto. En la figura 11, se detallan los resultados obtenidos.

Tal como se observa en la figura, el modelo es capaz de reproducir el perfil de polarización del ducto con un grado razonable de precisión, identificando las zonas con mayores niveles de polarización y aquellas que presentan valores relativamente más bajos a lo largo de su traza.

Ahora bien, más allá de la mera implementación del modelo y de su precisión relativa, el modelo per se no genera un valor agregado sustancial respecto de un sistema convencional de análisis de tendencias de protección catódica.

Por tal motivo, se continuó avanzando en su desarrollo, utilizándolo como base para la implementación de un sistema de detección temprana de anomalías, orientado a identificar desvíos significativos respecto del comportamiento esperado del potencial del ducto.

En función de lo anterior, y contando con la alineación de datos previamente detallada, se integraron en un único esquema analítico el telemonitoreo de las variables operativas de los equipos rectificadores, las mediciones de potencial ON/OFF y los valores predichos por el modelo ARIMA.

El objetivo de esta integración es disponer de un sistema de alerta temprana al momento de realizar mediciones de protección catódica en campo. Es decir, que durante la medición pueda identificarse en tiempo real si existen desviaciones significativas respecto del perfil esperado del ducto, alertando al personal técnico para que evalúe e investigue la causa del desvío detectado y no tomar como valido el potencial existente.

El espíritu de este mecanismo es potenciar el valor agregado de las operaciones, permitiendo identificar de manera temprana posibles anomalías en el sistema. Esto ocurre incluso antes de que los especialistas en protección catódica analicen las tendencias obtenidas, buscando reducir tiempos muertos, minimizar ineficiencias operativas y optimizar los costos asociados al mantenimiento.

En la figura 12, se representa gráficamente como este sistema funciona.

Tal como se observa en el gráfico anterior, se representa el comportamiento del modelo en el tramo analizado. Del mismo se pueden destacar los siguientes elementos:

- La línea azul continua: Corresponde a la medición OFF del ducto actual.
- La línea naranja punteada: Representa la predicción del modelo ARIMA. Cabe destacar que esta predicción no depende de la última medición OFF; por lo tanto, a medida que se van cargando nuevos valores de potencial de campo, estos se pueden ir comparando directamente contra la curva proyectada por el modelo.
- El área verde: Representa una banda de tolerancia de

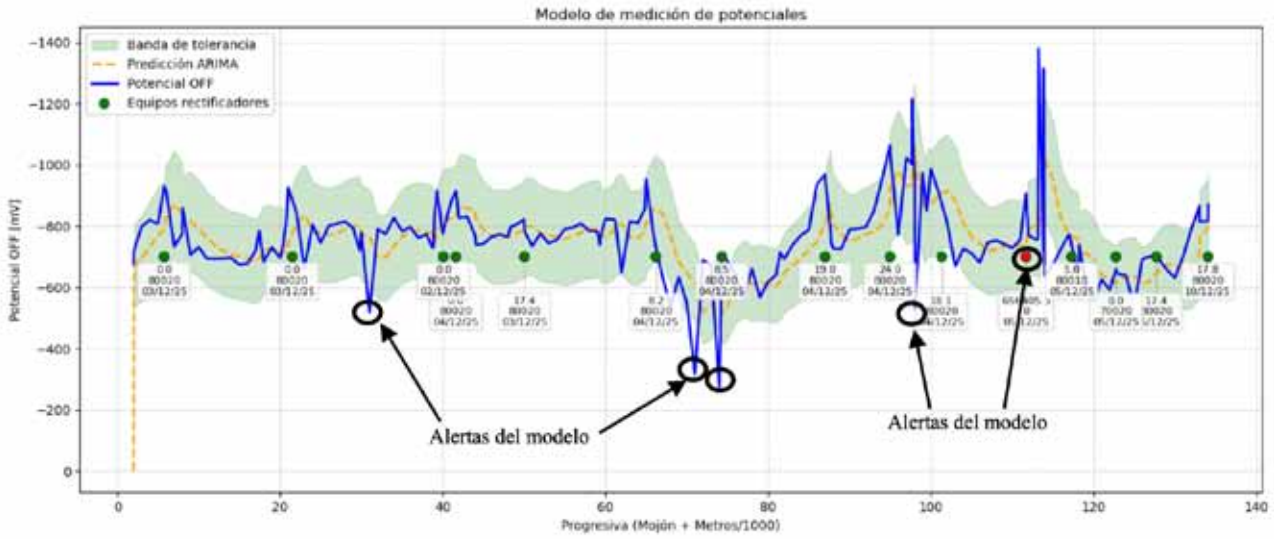

Figura 12. **Representación gráfica del modelo.**

los valores permitidos que puede tomar la medición OFF respecto al modelo ARIMA. Cabe aclarar que, en este ejemplo, la amplitud de la banda es arbitraria y se introdujo un margen del ±20% únicamente como valor de referencia.

- Los puntos circulares: Corresponden a los equipos rectificadores. Si están en color verde, indica que la unidad estaba ciclando al momento en que se realizó la medición de protección catódica; en caso de estar en color rojo, significa que el equipo no estaba ciclando. Además, las etiquetas de cada punto detallan la corriente de inyección, el estado del equipo y la fecha del registro.

En base a lo anterior, cualquier valor medido que se encuentre fuera de las bandas de tolerancia definidas, o ante la detección por parte del modelo de un comportamiento anómalo en los equipos rectificadores (por ejemplo, falta de ciclado o inyección de corriente no periódica), generará una alerta inmediata al personal de campo. En tal caso, el sistema indicará la existencia de un posible problema y sugerirá la interrupción de la campaña de mediciones de protección catódica hasta su verificación. Asimismo, informará al operador cuál es la condición anómala detectada.

Cabe destacar que el modelo en ningún caso sugiere qué valor de potencial debería registrarse. De este modo, se evita influenciar al personal con valores esperados teóricos, manteniendo la objetividad e independencia técnica de la medición en campo.

Ahora bien, para que el modelo resulte verdaderamente operativo, debe poder ejecutarse dentro de la aplicación móvil previamente detallada. De esta manera, se le otorga la versatilidad que el trabajo en campo requiere, permitiendo su funcionamiento en modo offline, sin necesidad de conexión a un servidor para realizar los cálculos y generar las alertas correspondientes.

Esta etapa aún se encuentra en fase de desarrollo y testeo, por el momento, no forma parte de un entorno productivo. A continuación, se presenta el diagrama de flujo propuesto para su implementación.

Discusión

El desarrollo propuesto requirió más de cinco años para su concreción, principalmente debido a la implementación física del hardware en cada unidad rectificadora responsable del telemonitoreo. La capacidad de telemonitoreo permite un control centralizado desde oficina, interactuando directamente con cada unidad

Figura 13. **Futuro flujo de la información.**

equipada con esta tecnología. Asimismo, los datos transmitidos por las unidades se almacenan en una base de datos estructurada de tipo SQL.

En paralelo, los datos provenientes de relevamientos de campo se almacenan en un formato predefinido, facilitado por el uso de una aplicación dedicada desarrollada específicamente para su utilización en sitio. Toda esta información es procesada y almacenada en bases de datos corporativas.

La visualización de datos se realiza mediante tableros de Microsoft Power BI, los cuales mejoran significativamente el procesamiento de la información y respaldan las operaciones diarias. Además, los datos se encuentran disponibles en un entorno LakeHouse basado en la nube, lo que permite la ejecución de estudios analíticos complejos orientados a mejorar la eficiencia operativa y la calidad del trabajo. La Figura 14 presenta el diagrama actual del flujo de datos.

El desarrollo permitió alcanzar los siguientes logros:

- Independencia respecto de cualquier proveedor externo de software.
- Identificación instantánea de fallas en unidades rectificadoras de corriente continua.
- Monitoreo y seguimiento en tiempo real de los relevamientos de potencial que se realizan sobre los gasoductos.
- Mejora en la trazabilidad y confiabilidad de los datos adquiridos.
- Reducción del 90 % en el tiempo requerido para la elaboración de informes destinados a organismos regulatorios, así como a partes interesadas internas y externas.
- Optimización de los tiempos de análisis mediante el uso de herramientas de Microsoft Power BI.
- Modernización de los estudios técnicos mediante la implementación de nuevos enfoques analíticos.
- Sistema de alerta temprana de problemas técnicos

Conclusión

La automatización de datos aportó numerosos beneficios que transformaron la manera en que la información es gestionada, analizada y utilizada para la toma de decisiones. Este fue el camino elegido por la compañía, incorporando nuevas tecnologías para fortalecer y modernizar los sistemas tradicionales de gestión de datos.

Los objetivos principales de este desarrollo fueron:

- Alcanzar una mayor eficiencia operativa mediante la reducción de tiempos y esfuerzos en el análisis de datos.
- Minimizar errores involuntarios en la captura y procesamiento de información.
- Lograr ahorros de costos evitando re-mediciones y optimizando los recursos de campo.
- Mejorar la toma de decisiones mediante una mayor trazabilidad de los datos y una presentación más clara y precisa de la información.
- Incrementar la seguridad de la información restringiendo la carga de nuevos datos exclusivamente a ubicaciones autorizadas cercanas al punto de medición.

La gestión de datos dentro del área de protección catódica demostró ser un elemento crítico para la administración y el análisis efectivos de sistemas de gasoductos de gran escala, como la red de TGN. Sin una gestión adecuada de los datos, la información de valor se vería diluida por inconsistencias, impactando negativamente en la precisión de la toma de decisiones.

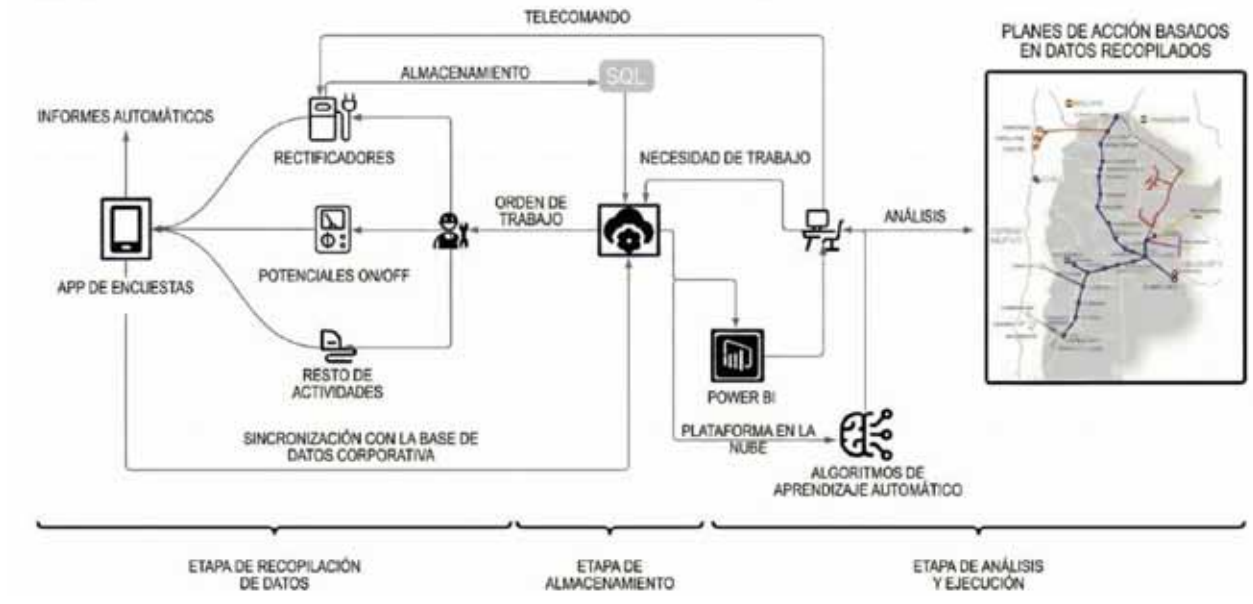

Figura 14. **Proceso completo de protección catódica en TGN.**

4° Jornada de Seguridad de Procesos en la industria de Oil & Gas

IAPG

21 y 22 de Octubre 2026, Neuquén

En el marco de

IAPG

AOG ARGENTINA OIL&GAS

PATAGONIA

19 AL 22 de octubre 2026
Espacio DUAM, Neuquén

IAPG INSTITUTO ARGENTINO DEL PETROLEO Y DEL GAS

Maipú 639 (C1006ACG) - Buenos Aires, Argentina
Tel: (54 11) 5277 IAPG (4274) - www.iapg.org.ar

Shale en ARGENTINA
www.shaleenargentina.org.ar

OFFSHORE EN ARGENTINA
offshoreenargentina.com.ar