



Auditoria de Sistemas de Protección Catódica y Estado de Conservación de Revestimientos Anticorrosivos en Gasoductos y Oleoductos (Inspecciones CIPS – DCVG)



Empresa de Ingeniería en Integridad de Ductos

Conocemos lo que hacemos...

2007

PROTAN S.A. – Catamarca 1207 - (2134) - Roldan - Santa Fe – ARGENTINA.

Telefax: 54 - 341 – 4961222 - protan@protansa.com – angel@protansa.com -www.protansa.com



Índice

1. Objetivo	Pág. 3
2. Introducción	Pág. 3
3. Inspección CIPS	Pág. 5
3.1 Memoria Técnica Descriptiva	Pág. 5
3.2 Procedimiento de Trabajo	Pág. 7
4. Inspección DCVG	Pág. 10
4.1 Memoria Técnica Descriptiva	Pág. 10
4.2 Procedimiento de Trabajo	Pág. 12
5. Lista de equipos e instrumentos utilizados	Pág. 14
6. Descripción del software CIPS & DCVG	Pág. 14



1. Objetivo

Describir los procedimientos que intervienen en el Estudio de Sistemas de Protección Catódica y Estado de Conservación de Revestimientos para el control de la corrosión externa en cañerías subterráneas.

2. Introducción

La corrosión en cañerías metálicas es un proceso electroquímico, causado por la generación de sitios anódicos y catódicos en la superficie del ducto con el subsiguiente flujo de corriente continua entre estas áreas. En sitios anódicos, se generan electrones a causa de la disolución del metal. Estos electrones viajan por el acero de la cañería a las zonas catódicas donde son consumidos en reacciones de reducción (oxidación). El circuito eléctrico se completa mediante el flujo iónico en la tierra entre el sitio catódico y el sitio anódico.

Para prevenir los daños causados por la corrosión externa, las cañerías son protegidas contra estos efectos mediante una combinación de revestimientos dieléctricos y sistemas de protección catódica. Los revestimientos dieléctricos representan la primera línea de defensa contra la corrosión externa. Aunque los revestimientos generalmente proporcionan una excelente protección, la mayoría de ellos se deterioran con el tiempo debido a absorción de agua, presiones de la tierra, abrasión del suelo, daño de raíces, ataque bacteriológico y numerosas otras causas. Estos daños permiten que la corrosión ocurra en los lugares en donde se producen contactos entre el medio corrosivo (la tierra) y las superficies del acero expuestas por los defectos del revestimiento.

La protección catódica tiene la función de proteger la cañería en los lugares donde el revestimiento ha fallado, actuando como la segunda línea de defensa contra la corrosión externa. La protección catódica se logra mediante el suministro de electrones a la estructura metálica, transformando su potencial a valores más negativos con respecto al medio en que se encuentra. Por definición, la corrosión representa la pérdida de electrones por átomo o grupo de átomos. Cuando estos electrones son suministrados externamente a través del acero de la cañería (por protección catódica), los mecanismos de corrosión son reducidos hasta niveles insignificantes. Estos efectos son complementados con los cambios electroquímicos en la tierra (aumento en pH) causado por los subproductos de aplicación de protección catódica.

Actualmente en la industria, se acepta generalmente que la combinación de revestimientos dieléctricos con sistemas de protección catódica es la medida más efectiva para controlar los efectos de corrosión externa en cañerías subterráneas. Un factor que es menos comprendido es que este control depende de un equilibrio delicado entre el estado físico en que se encuentra el revestimiento y los niveles de protección catódica. Para obtener niveles efectivos de protección catódica, los potenciales de la cañería deben ser mantenidos entre las fronteras de -850 mV "off" (subprotección) y -1140 mV "off" (sobrepotección). Esta meta solo se puede alcanzar si existe un decaimiento controlado en el perfil de potencial de la cañería desde los puntos de máximo potencial (los rectificadores ó ánodos galvánicos) a los puntos de mínimo potencial (las áreas remotas de los rectificadores ó ánodos galvánicos). El ritmo de decaimiento del potencial depende principalmente de la condición del revestimiento de la cañería que se considera como el factor crítico para el correcto funcionamiento de los sistemas de protección catódica.



La metodología empleada para el control de corrosión externa en cañerías subterráneas consiste en la inspección del revestimiento y de la efectividad de la protección catódica para evaluar el equilibrio entre ambos sistemas. Las inspecciones se realizan empleando una combinación de las siguientes técnicas:

- Técnica “Close Interval Potential Survey” (CIPS).
- Técnica “Direct Current Voltage Gradient” (DCVG).

3. Inspección CIPS

3.1 Memoria Técnica Descriptiva

La técnica de CIPS (Close Interval Potential Survey) es un sistema de inspección desarrollado para el análisis detallado de los niveles de protección catódica en cañerías subterráneas. La técnica consiste en la medición continua de los potenciales de la cañería con respecto al electrodo de referencia de cobre / sulfato de cobre. El operador realiza un recorrido del ducto extendiendo un alambre de fino calibre desde el poste de prueba más cercano. El alambre se conecta a un par de celdas de referencia a través de una computadora de campo. Las celdas de referencia se ubican en turno apoyadas sobre la tierra mientras el operador avanza sobre la cañería y la computadora de campo registra los valores de los potenciales.



Los potenciales de la cañería son registrados con corriente encendida (potenciales “on”) y con corriente apagada (potenciales “off”) para eliminar los errores de “IR” en las mediciones causados por el flujo de corriente entre la cañería y las celdas de referencia. Para obtener los potenciales “off”, se colocan temporizadores cíclicos en todas las fuentes de protección catódica con influencia en la zona bajo estudio. Los temporizadores deben funcionar en perfecta sincronía para permitir mediciones precisas de potenciales “off”.

Los resultados de los estudios de CIPS sirven los siguientes propósitos:

(a) Identificación de los niveles de protección de la cañería:

El perfil de potenciales “off” de las gráficas de CIPS sirve para identificar con precisión los niveles de polarización de la cañería. Los potenciales “off” se deben mantener entre la frontera de subprotección (-850 mV) y la frontera de sobreprotección (-1140 mV). Potenciales “off” por debajo de -850 mV sugieren una insuficiente polarización del acero de la cañería, situación que puede permitir la corrosión de la cañería. Potenciales “off” por arriba de -1140 mV sugieren una excesiva polarización del acero de la cañería, situación que puede resultar perjudicial para el revestimiento de la cañería por efectos de despegue catódico.

(b) Estimación del estado del revestimiento de la cañería:

El perfil de potenciales “on” resulta una herramienta útil para la evaluación del estado del revestimiento de la cañería. En zonas con una buena calidad de revestimiento, el perfil de potencial se mantiene principalmente estable y existirá una diferencia constante entre los perfiles de potenciales “on-off”. En zonas donde existen defectos en el revestimiento de la cañería, se registrarán valles en el perfil de potencial, siendo los tamaños de los valles proporcionales a la severidad de los defectos. Adicionalmente, existirá una reducción en la diferencia entre los perfiles de potenciales “on-off”.



(c) Identificación de zonas con posibles interferencias eléctricas:

Una función adicional de la técnica de CIPS es la detección de zonas de la cañería afectadas por posibles interferencias eléctricas, particularmente las interferencias de corriente directa asociadas con cargas y descargas de corriente a través de la tierra desde ó hacia sistemas de ductos ajenos. Las zonas de *carga* de corriente manifiestan aumentos significativos tanto en el perfil de potencial “on” como en el perfil de potencial “off”, sin que existan cambios significativos en la diferencia entre ambos perfiles. Similarmente, las zonas de *descarga* de corriente manifiestan reducciones inusuales en ambos perfiles de potenciales con una diferencia constante entre ambos perfiles.

En resumen, la técnica de CIPS cumple las siguientes funciones:

- (a) Identificación de zonas con inadecuados niveles de protección catódica.
- (b) Identificación de zonas con excesivos niveles de protección catódica.
- (c) Identificación de zonas con posibles deficiencias en la calidad del revestimiento.
- (d) Identificación de zonas afectadas por posibles interferencias eléctricas.



3.2 Procedimiento de trabajo

El proceso de inspección CIPS se conforma de las siguientes etapas:

1) Estudio preliminar de la cañería a inspeccionar

Comprende el análisis de la ubicación y diseño de la cañería a inspeccionar; identificación de CMP, equipos rectificadores, ERP, válvulas, derivaciones, cruces de ruta, etc.

2) Señalización de la traza de la cañería

Se procede a señalar la traza de la cañería con estacas ubicadas cada 30 m de distancia utilizando un detector de cañerías.

3) Intervención de los equipos rectificadores

En esta etapa se realiza la instalación de los interruptores sincronizados por satélite (temporizadores) sobre los equipos rectificadores que afecten la zona a inspeccionar. Los ciclos de interrupción de los temporizadores conforman una relación determinada de encendido/apagado para evitar la despolarización significativa de la cañería durante el transcurso de los estudios.

Para confirmar la sincronización de los temporizadores se utiliza un osciloscopio digital, comparando los gráficos de onda y verificando si algún temporizador está fuera de sincronismo en cada uno de los mojones kilométricos.

4) Relevamiento de potenciales ON-OFF

Una vez realizada la intervención de los equipos rectificadores, se procede al registro de potenciales On-Off a lo largo de la cañería utilizando un equipo de almacenamiento de datos (data logger). A continuación se describen los pasos comprendidos durante el relevamiento de potenciales:

- a) Las mediciones son realizadas sobre la traza de la cañería con una separación igual a un metro (1 m) entre dos mediciones consecutivas.
- b) En aquellos casos donde la zona de trabajo posee terrenos secos, se procederá a humectar el punto de contacto entre los electrodos de CU-CUSO₄ y el suelo.
- c) Todas las mediciones relevadas serán referidas a los mojones (CMP) u otros puntos de referencias considerados por la empresa.
- d) En el caso de obtener lecturas de los potenciales Off más positivas que -850 mV, o se identifiquen zonas con caídas significativas en el sentido menos negativo; se tomará una medición de potenciales a la derecha y/o izquierda de la cañería.
- e) Se analizarán todos los cruces con cañerías pertenecientes a terceros, los cuales serán referenciados y de ser posible se tomarán mediciones de sus potenciales.
- f) Antes de conectar el equipo a un nuevo poste de medición (CMP), se registrarán datos de conexión cercana y caída de IR.
- g) Se tomará registro como referencias todas aquellas estructuras que se encuentren ubicadas en las cercanías de la traza de la cañería.
- h) Se recolectará el cable utilizado durante la inspección y las estacas de señalización de la traza de la cañería.



5) Evaluación del funcionamiento de juntas aislantes

Se procederá a registrar potenciales en ambos lados de las juntas aislantes para verificar su correcto funcionamiento.

6) Localización de contactos con estructuras

Los potenciales de caños camisa serán grabados en el colector de datos, y en caso en que este en contacto con la cañería aparecerá como tal para futuras reparaciones.

7) Detección de interferencias eléctricas

Se registrarán potenciales con cruces de líneas externas al estudio y se tomarán potenciales sobre las mismas en el caso que sea posible. También se tomarán mediciones en zonas próximas a industrias, equipos transformadores, cruces de líneas de alta y media tensión, sistemas ferroviarios, etc.

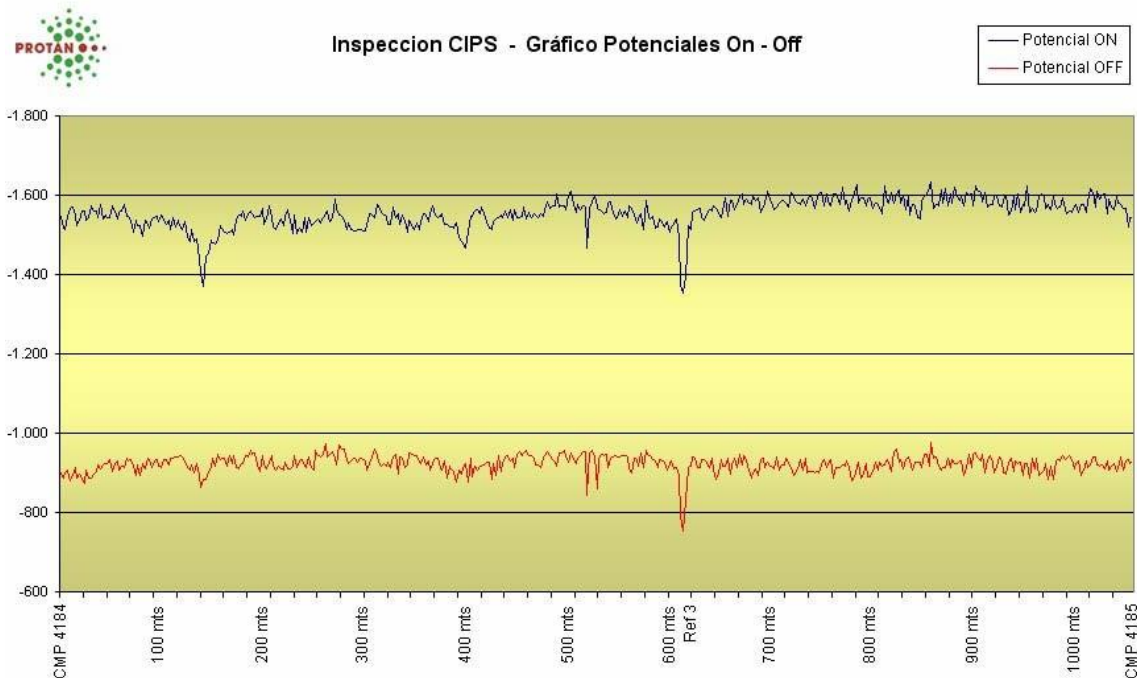
8) Descarga de datos en el software

Al finalizar la jornada de trabajo de campo, se deberán exportar los datos desde el registrador de datos al software destinado al análisis de la información (Ver punto 6).

9) Análisis de la información relevada

Mediante la utilización del software se obtiene un perfil eléctrico de la totalidad de la cañería en cuestión, representado por medio de un gráfico de fácil interpretación de potenciales eléctricos en función de la distancia recorrida.

El gráfico ilustra el comportamiento de los potenciales eléctricos On (en azul) y Off (en rojo) a lo largo del tramo en cuestión. Para una mejor interpretación de la información se establecen tramos de aproximadamente 1 Km de distancia, delimitados por dos postes de medición (CMP) consecutivos.





En el eje X se expresan las distancias progresivas relativas a cada tramo, indicadas cada 100 mts de distancia con el objetivo de facilitar la identificación de zonas particulares.

Las referencias físicas a lo largo de todo el tramo analizado son representadas mediante un texto alineado en forma vertical dentro del campo del gráfico, posicionado en la progresiva real. De esta manera se pueden considerar otros puntos de referencia sin necesidad de referirse al inicio del estudio, reduciendo el error de las mediciones superficiales al momento de marcar un defecto en el revestimiento.

Por último, el gráfico posee una línea punteada con un valor constante de -850 mV, que se utiliza como una referencia de los niveles de protección y polarización con respecto al límite aceptado por la NAG-100.

4. Inspección DCVG

4.1 Memoria Técnica Descriptiva

La técnica de “Direct Current Voltage Gradient” (DCVG) es un sistema desarrollado para la detección y el análisis de defectos en el revestimiento de cañerías subterráneas. Los defectos se localizan examinando los gradientes de potencial en la tierra cubriendo las cañerías para determinar la dirección del flujo de las corrientes de protección catódica.



Dado que la protección catódica actúa en un flujo de corriente *hacia* los puntos de acero expuestos en la cañería, los defectos en el revestimiento pueden ser localizados individualmente. La alta sensibilidad de los instrumentos de DCVG permite la localización de hasta los más pequeños defectos con una exactitud aproximada de 10cm.

Una vez localizado el defecto, se determina su importancia considerando los siguientes cuatro parámetros:

(a) Tamaño del defecto:

El tamaño del defecto se determina midiendo la pérdida de potencial entre el epicentro del defecto y tierra remota. Este valor se expresa como una fracción del cambio de potencial de la cañería (el aumento de potencial debido a la aplicación de protección catódica) para calcular un porcentaje denominado el % IR. Los defectos son designados a las siguientes cuatro categorías según sus respectivos valores de % IR:

Categoría 1 (51-100 % IR)

Los defectos de revestimiento de Categoría 1 se consideran críticos dado que el alto tamaño de acero expuesto a la tierra impide funcionamiento adecuado de los sistemas de protección catódica aumentando los riesgos de corrosión. El inevitable consumo de corriente relacionado con estos defectos también impide la protección adecuada en zonas más remotas con respecto a los puntos de suministro de protección catódica.

Categoría 2 (36-50 % IR)

Los defectos de revestimiento de Categoría 2 representan amplias áreas de acero en contacto con la tierra. Estos defectos generan altos consumos de corrientes de protección catódica e impiden una buena distribución de corriente desde los puntos de suministro de protección catódica.

Categoría 3 (16-35 % IR)

Los defectos de revestimiento de Categoría 3 representan medianas áreas de acero en contacto con la tierra causando moderados consumos de corrientes de protección catódica.

Categoría 4 (0-15 % IR)



Los defectos de revestimiento de Categoría 4 representan pequeñas áreas de acero en contacto con la tierra. Los defectos se consideran de menor importancia dado que los sistemas de protección catódica pueden proteger estos puntos a largo plazo.

Es importante destacar que las estimaciones de %IR no siempre están relacionadas en forma directa con los tamaños físicos de los defectos del revestimiento. Existen casos donde la aplicación de protección catódica genera capas de depósitos calcáreos y/o magnetita sobre las superficies de acero expuestas por defectos del revestimiento. Estas capas presentan una alta resistencia al circuito de protección catódica y actúan como un revestimiento secundario para la protección de las cañerías. En estos casos, las estimaciones de %IR consideran ambos "revestimientos" y los tamaños físicos de los defectos resultan inferiores a los anticipados. En otros casos donde existen bajos niveles de protección catódica y/o la presencia de tierras ácidas que inhiben la formación de las capas calcáreas, los tamaños físicos de los defectos resultan superiores a los anticipados.

(a) Longitud del defecto:

Operadores experimentados en el sistema de DCVG pueden determinar la longitud aproximada de los defectos del revestimiento mediante la examinación de los gradientes de potencial a su alrededor. Estos datos proveen información crítica en cuanto a la longitud de excavaciones y cantidad de materiales y recursos necesarios para efectuar las reparaciones.

(b) Estado de corrosión del defecto:

El DCVG proporciona información adicional acerca del estado de corrosión de cada defecto. Se mencionó anteriormente que la técnica es capaz de determinar la dirección del flujo de corriente por la tierra cubriendo los ductos. Dado que la corrosión resulta en el flujo de corriente *desde* los defectos y la protección catódica resulta en el flujo *hacia* los defectos, es posible determinar individualmente el estado de corrosión de cada defecto. Esta aplicación del DCVG resulta particularmente útil durante la detección de ánodos galvánicos.

(c) Influencia del defecto con respecto a interferencias eléctricas:

Operadores experimentados en el sistema de DCVG pueden realizar investigaciones de interferencias eléctricas *desde* ductos ajenos así como *hacia* ductos ajenos. Interferencias *desde* ductos ajenos registrarán señales anódicas en la cañería propia. Interferencias *hacia* ductos ajenos registrarán señales anódicas en la cañería ajena. El sistema de DCVG también representa una herramienta ágil para la detección y determinación del flujo de corrientes parásitas en la tierra entre la cañería propia y la cañería ajena.

En resumen, la técnica de DCVG cumple las siguientes funciones:

- (a) Detección exacta de los defectos en el revestimiento del ducto.
- (b) Evaluación del tamaño de los defectos.
- (c) Evaluación de la longitud de los defectos.
- (d) Evaluación del estado actual de corrosión en el acero expuesto por los defectos.
- (e) Detección de ánodos galvánicos.
- (f) Investigación de zonas con posibles interferencias eléctricas.



4.2 Procedimiento de trabajo

El proceso de inspección DCVG se conforma de las siguientes etapas:

1) Estudio preliminar de la cañería a inspeccionar

Comprende el análisis de la ubicación y diseño de la cañería a inspeccionar; identificación de CMP, equipos rectificadores, ERP, válvulas, derivaciones, cruces de ruta, etc.

2) Señalización de la traza de la cañería

Se procede a señalar la traza de la cañería con estacas ubicadas cada 30 m de distancia utilizando un detector de cañerías.

3) Intervención de los equipos rectificadores

En esta etapa se realiza la instalación de los interruptores sincronizados por satélite (temporizadores) sobre los equipos rectificadores que afecten la zona a inspeccionar. Los ciclos de interrupción de los temporizadores conforman una relación determinada de encendido/apagado para evitar la despolarización significativa de la cañería durante el transcurso de los estudios.

Para confirmar la sincronización de los temporizadores se utiliza un osciloscopio digital, comparando los gráficos de onda y verificando si algún temporizador está fuera de sincronismo en cada uno de los mojones kilométricos.

4) Inspección DCVG

Se procede a inspeccionar la cañería utilizando el Medidor de Gradientes de Potencial DCVG. El empleo de dicho instrumento permite obtener la siguiente información:

- a) Localización del epicentro de defectos en el revestimiento con una exactitud de 10 cm.
- b) Determinación del tamaño, forma y severidad de cada defecto.
- c) Clasificación de cada defecto según el comportamiento de la corrosión, posibilitando la identificación de aquellos defectos que no poseen suficiente protección catódica y pueden derivar en la pérdida de metal.
- d) Identificación de zonas con presencia de interferencias eléctricas a través de aquellos defectos que están recibiendo o descargando corriente continua.
- e) Identificación del origen de la corriente de Protección Catódica que actúa sobre cada defecto, con el objetivo de determinar la posibilidad de que un defecto quede sin protección ante el mal funcionamiento de una fuente de Protección Catódica.
- f) Identificación de cañerías o estructuras de terceros que interfieren y se benefician del sistema de Protección Catódica.
- g) Determinación del estado de juntas dieléctricas.
- h) Identificación de defectos ubicados en Cajas de Medida de Potenciales (CMP), utilizadas para mediciones de potenciales con elevada frecuencia.



La determinación de la severidad de cada defecto se expresa mediante el porcentaje IxR. El mismo se calcula teniendo en cuenta la relación entre la caída de potencial en la falla y un valor tomado a distancia remota.

La ubicación de cada defecto queda establecida mediante sus coordenadas geográficas, distancia progresiva parcial (desde CMP), progresiva total y profundidad. Además, se procede a colocar una estaca sobre el punto de ubicación de cada defecto para facilitar la identificación al momento de realizar la reparación.

5) Descarga de datos en el software

Al finalizar la jornada de trabajo de campo, se deberán exportar los datos al software destinado al análisis de la información (Ver punto 6).

6) Análisis de la información relevada

Mediante el empleo del software se procede a analizar la información relevada y determinar el estado de conservación del revestimiento.

El software permite generar gráficos que muestran la concentración de los defectos a lo largo de la inspección. A su vez, posibilita agrupar los defectos según su condición (Catódico – Catódico; Catódico – Anódico; Anódico – Anódico) o según su porcentaje IxR.

A través de éstos gráficos se determinan cuáles son las zonas más comprometidas y cuáles son los defectos que deben ser reparados en lo inmediato y/o a mediano plazo.

La localización casi exacta de los defectos, su forma y estado, permite establecer programas de reparación de los defectos con una significativa disminución de los costos de excavación.

5. Lista de equipos e instrumentos utilizados

- Registrador de Potenciales Quantum, fabricado por DC Voltaje Gradient Technology & Suply Ltd.



- Medidor de Gradientes de Potencial DCVG, fabricado por DC Voltaje Gradient Technology & Suply Ltd.



- Interruptores Sincronizados EPIGPS20, fabricado por Epca+Imastec



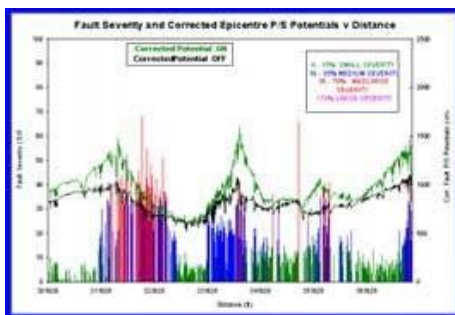
- Localizador de cañerías Amprobe R-3000 PRO.



- Equipo rectificador portátil 50 V – 50 A
- Multímetro Digital FLUKE 189
- Osciloscopio Fluke Scope Meter
- Navegador Satelital Garmin GPS 76

6. Descripción del software CIPS & DCVG

El software CIPS & DCVG es una herramienta informática orientada al análisis de la información relevada en el trabajo de campo. Desarrollado por DC Voltaje Gradient Technology & Suply Ltd, el software permite la carga de los datos generados en ambos tipos de inspección.



Entre los aspectos más destacados del software podemos mencionar el análisis integrado de los datos CIPS y DCVG. Mediante la generación de diferentes tipos de gráficos, podemos evaluar la influencia de los defectos en el revestimiento sobre los niveles de protección catódica. Además, permite realizar correcciones en los valores de IR de los defectos localizados en la inspección DCVG con la información relevada en la inspección CIPS.