

CASO DE ESTUDIO DE DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SPCCI PARA CASINGS DE POZOS PETROLEROS USANDO SOFTWARE DE ELEMENTOS FRONTERA, EVALUANDO DIFERENTES PROFUNDIDADES Y ARQUITECTURAS E INTERFERENCIAS HACIA POZOS CERCANOS

Norberto Aldo Pesce, Omnitronic S.A. npesce@omnitronic-sa.com

Norberto Antonio Pesce, Omnitronic S.A. npescezurbruggen@omnitronic-sa.com

Héctor C. Albaya, Sistemas de Protección Catódica S.A., hector.albaya@gmail.com

Sinopsis

Los sistemas de protección catódica por corriente impresa (SPCCI) pueden utilizarse de manera efectiva para lograr la apropiada mitigación de la corrosión en los casings de pozos de producción, pero en ocasiones puede ser difícil y oneroso determinar la distribución de dispersores más conveniente para lograr su cometido sin interferir estructuras cercanas. Una vez que el sistema está instalado, el costo de rediseño puede ser aún mayor si los relevamientos en campo indican que la protección necesaria no fue alcanzada o que existen interferencias no deseadas. Por lo tanto, es deseable y económico poder establecer la performance del SPCCI antes de su efectiva instalación. Dicho estudio puede lograrse mediante el uso de modelos matemáticos implementados con ordenadores. De las metodologías disponibles, en este documento se presentan simulaciones mediante software de elementos frontera.

Para realizar tales simulaciones se debe preparar un modelo de los casings reflejando la geometría de los pozos y de las camas dispersoras propuestas, e incluyendo el circuito eléctrico de retorno a través de los cables y el casing. De modo de interpretar correctamente el comportamiento eléctrico de la corriente en el terreno, la resistividad del suelo debe ser identificada en sus distintos estratos. La simulación de diferentes escenarios permite cuantificar el comportamiento de distintas soluciones, brindando un entendimiento valioso del comportamiento del sistema, contribuyendo a la robustez del diseño final.

A un nivel práctico, el diseñador puede de forma simple ensayar distintas configuraciones de dispersores (cantidad, profundidades, ubicaciones, etc.) como variables para lograr una configuración final óptima desde el punto de vista técnico y económico. El objetivo de este documento es demostrar cómo dicha metodología fue aplicada a un SPCCI instalado en la selva amazónica para protección de los casings de una plataforma de pozos dirigidos.

Introducción

A pedido de un cliente, se nos solicitó el diseño e instalación de un sistema piloto de protección catódica para protección de una plataforma conteniendo cuatro pozos de producción direccionales en la selva amazónica. Este requerimiento resultó en un estudio para la mitigación de la corrosión de la superficie externa del encamisado (casing) del pozo en contacto con el terreno.

Algunas particularidades de la instalación son:

- Los cuatro pozos se encuentran conectados eléctricamente en las cabezas. Al penetrar en el terreno los pozos se separan hasta un máximo de 500 metros horizontalmente a una profundidad máxima de 3000 metros.
- El yacimiento no cuenta con casos anteriores de aplicación de protección catódica a casings de pozos de producción.
- El yacimiento está formado por varias plataformas similares a la actual, con pozos vecinos acercándose a los pozos en estudio y con susceptibilidad de interferencias.

Para el diseño e instalación de este sistema se aplicaron los siguientes pasos:

- Inicialmente se asumió para el dimensionamiento de la corriente necesaria para el sistema piloto una densidad de corriente conservadora para este tipo de instalaciones.

- En base a información provista por el cliente sobre la geometría del pozo y los estratos de resistividad del terreno se preparó un modelo computacional por elementos frontera y se utilizó para evaluar diferentes escenarios (1 o 2 dispersores profundos y su ubicación)
- Una vez que el sistema de protección catódica fue definido, se agregaron al modelo los pozos vecinos más cercanos y se evaluó la posibilidad de interferencia y su intensidad.
- El sistema piloto de protección catódica se utilizó para realizar un ensayo E-log I para verificar la coherencia con los parámetros de diseño.
- Finalmente se presentaron al cliente conclusiones y recomendaciones para instalaciones futuras.

Estándares Aplicables

El diseño de la protección catódica para casings se basó en el siguiente estándar: NACE SP0186-2007 Application of Cathodic Protection for External Surfaces of Steel Well Casings (NACE International, 2007).

El párrafo 4.3 de dicho documento presenta diferentes métodos para determinar el requerimiento de corriente. Tres de estos métodos fueron utilizados en este estudio. Inicialmente se aplicó una densidad de corriente promedio basado en experiencias anteriores. Luego se utiliza un modelo matemático numérico (propuesto en el párrafo 4.3.3.3) para evaluar la distribución de corriente óptima y el menor costo necesario. Finalmente, se realizó un ensayo E-log I una vez que la instalación se completó para validar los supuestos de diseño y obtener una densidad de corriente más precisa que podrá ser aplicada a continuación para otros pozos en el mismo yacimiento.

Es importante mencionar que la norma NACE SP0169-2013 “Control of External Corrosion of Underground or Submerged Metallic Piping Systems” no aplica a estructuras en profundidad tales como los casings de pozos de producción.

Finalizadas las tareas de diseño e instalación, se sugirió a la operadora que realice un estudio CPP (Casing Potential Profile) de modo de verificar de forma directa el ingreso de corriente en cada sección del casing.

Conclusiones del Diseño y la Instalación

- a. El requerimiento de corriente fue determinado en última instancia mediante un estudio E-log I.
- b. El modelo de elementos frontera concluyó que:
 - i. La distribución de corriente es adecuada para un único dispersor profundo a 100 metros de profundidad, en lugar de los dos dispersores originalmente propuestos.
 - ii. No se detectaron secciones con corrientes anódicas en el modelo al aplicar la corriente propuesta.
 - iii. Se predijeron interferencias de baja magnitud entre una plataforma catódicamente protegida y los casings desprotegidos cercanos. Estos efectos se anticipa que desaparezcan una vez que las plataformas aledañas también sean equipadas con sistemas de protección catódica. Esto efectos no son detectados desde la superficie durante los ensayos en campo.
- c. El uso de modelos de elementos frontera para el diseño de sistemas de protección catódica para casings de pozos permite lograr una óptima distribución de corriente con una inversión mínima en la instalación, mejorando así la relación costo-beneficio del sistema de protección catódica.

Desarrollo

Modelo Computarizado

El modelo computarizado ha evolucionado en los últimos años y es hoy utilizado para verificar el desempeño de sistemas de PC tanto en terrenos como en marítimo. En este estudio se utilizó un software que utiliza la técnica de elementos frontera (boundary elements model, BEM).

Un modelo computacional busca simular la respuesta física del proceso de corrosión y las características del sistema de protección catódica. El modelo aquí propuesto toma en consideración las reacciones cinéticas en

la superficie del metal, el revestimiento, la resistividad del electrolito (terreno) y la geometría en tres dimensiones de la estructura metálica y del electrolito que la rodea.

Parámetros del modelo

Las características geométricas de los casings a proteger fueron provistas por la operadora. Los datos de diámetro, espesor de pared y directrices de los casings provistas e incluidas en el modelo. Se presenta en la Figura 1 un ejemplo de las coordenadas provistas para uno de los cuatro pozos en la plataforma bajo estudio.

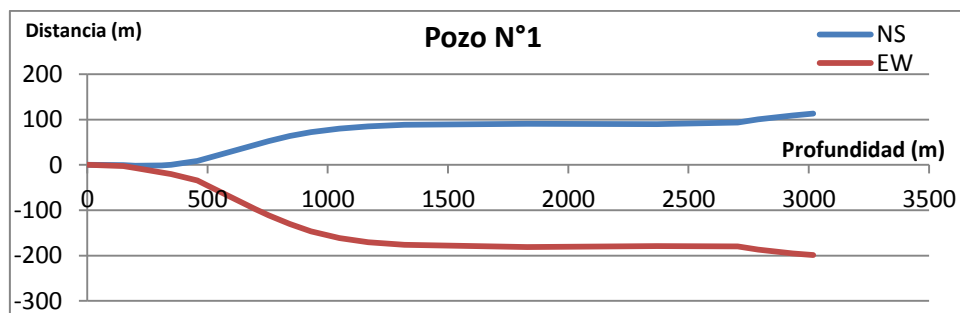


Figura 1: Ejemplo de desviaciones N-S y E-O de pozo N°1

El espesor de pared y diámetro de las secciones de casing se utilizan para calcular la resistencia de los caminos de retorno de corriente. La información provista y las resistencias eléctricas resultantes de dos de los pozos se incluyen en la Tabla 1.

Tabla 1: Ejemplo de dimensiones y resistencias de pozos 1 y 2

Pozo N°1					
Diam. Ext. (in)	Diam. Ext (mm)	Esp. Pared (mm)	Diam. Int. (mm)	Long. (m)	Res. Lineal (Ohm/m)
13 3/8	339,72	10,92	317,88	1203	3,5597E-06
9 5/8	244,48	13,84	216,8	2674	4,004E-06
7	177,8	10,36	157,08	3085,5	7,3679E-06
Pozo N°2					
Diam. Ext. (in)	Diam. Ext (mm)	Esp. Pared (mm)	Diam. Int. (mm)	Long. (m)	Res. Lineal (Ohm/m)
13 3/8	339,72	8,38	322,96	502	4,603E-06
9 5/8	244,48	10,03	224,42	2469	5,4352E-06
7	177,8	10,36	157,08	3114	7,3679E-06

En base a los estudios de resistividad provistos por la operadora, se incluyen en el modelo las capas de resistividad indicadas en la Tabla 2.

Tabla 2: Capas de resistividad de terreno incluidas en el modelo

Desde	Hasta	Resistividad		Conductividad	Dif. altura	Capa
m	m	Ohm.m	Ohm.cm	S/m	m	Nr.
0	20	29	2900	0,0345	20	1
20	250	20	2000	0,0500	230	2
250	420	35	2500	0,0286	170	3
420	520	15	2500	0,0667	100	4
520	2260	3,5	350	0,2857	1740	5
2260	3140	3	2300	0,3333	880	6
3140	3200	13	1300	0,0769	60	7

3200	3500	2	1250	0,5000	300	8
------	------	---	------	--------	-----	---

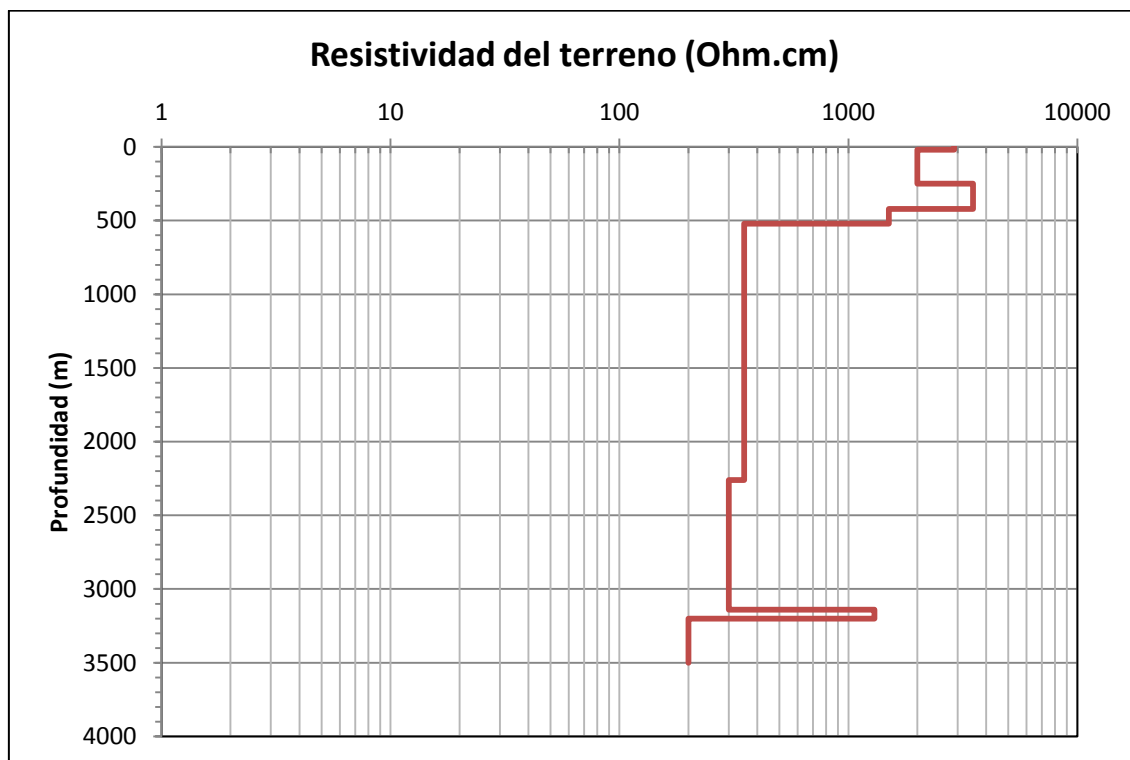


Figura 2: Capas de resistividad del terreno consideradas en el modelo

Un parámetro importante a incluir en el modelo es la curva de polarización de la superficie expuesta al electrolito del casing. En este caso, la curva debe representar la superficie de acero revestida con una capa irregular de cemento que se aplica in situ una vez que el casing se encuentra instalado. En la Figura 3 se presenta la curva considerada. La misma curva fue utilizada para toda la longitud del pozo. Aunque se espera que la estructura polarice más rápidamente a medida que descendemos en el terreno y la concentración de oxígeno es menor, la razón de cambio en la curva de polarización es difícil de predecir. Por esta razón, se toma el supuesto conservador de que toda la superficie cuenta con la misma curva. La curva considerada fue obtenida experimentalmente mediante el uso de un banco de ensayos. Los potenciales considerados en la curva de polarización y todos los potenciales indicados en este documento se refieren a un electrodo de referencia de Cobre-Sulfatos de Cobre.

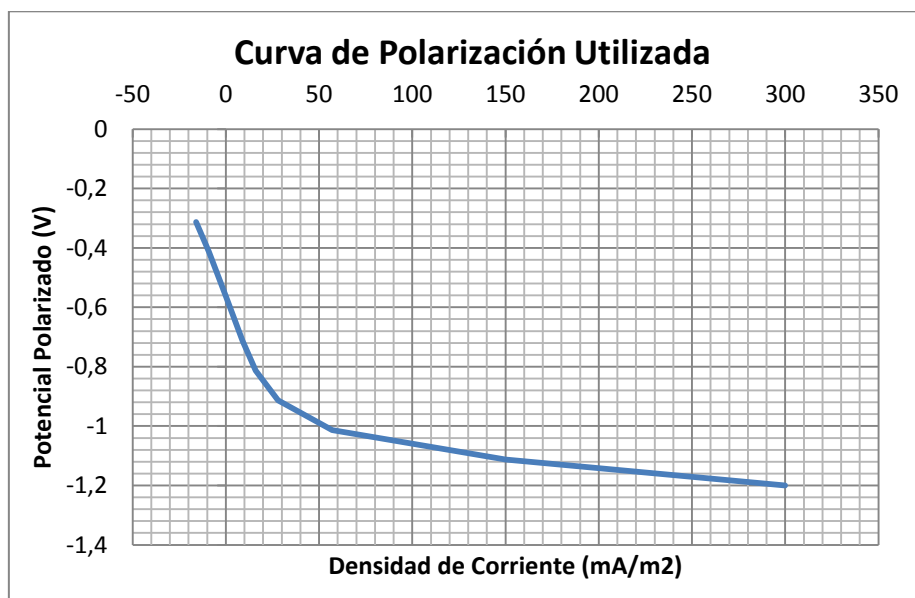


Figura 3: Curva de polarización aplicada a la superficie del casing

Evaluación de uso de uno o dos dispersores

El sistema piloto que debe instalarse se utilizará para realizar un ensayo E-log I de modo de determinar el requerimiento de corriente para proteger adecuadamente la plataforma de pozos. Sin embargo, para poder diseñar el sistema piloto se debe asumir un requerimiento de corriente teórico que se utilizará hasta tanto se ejecute el ensayo E-log I. Es así que se considera una densidad de corriente de $4,7 \text{ mA/m}^2$ en base a experiencias anteriores de protección de casings en sitios de características similares. Esta densidad de corriente entrega una corriente total de 48 A para la plataforma completa. Si bien se aplica un factor de seguridad al dimensionar los componentes del sistema como el dispersor profundo y el rectificador, este valor teórico es utilizado al correr los modelos para observar el comportamiento del sistema.

Habiendo establecido un modelo general para la plataforma a proteger, se puede evaluar el comportamiento de diferentes configuraciones y así seleccionar la opción con mejor relación costo-beneficio.

Dos dispersores profundos se ubican a una profundidad máxima de 100 metros, con una columna activa de 50 metros y un diámetro de 0,3 metros. Los mismos se ubican al Noreste y Sudoeste de las cabezas de pozos, a aproximadamente 100 metros. Se prepara además un segundo modelo sólo con el dispersor Noreste activo. Se presentan resultados gráficos y numéricos en las Figuras 4 y 5.

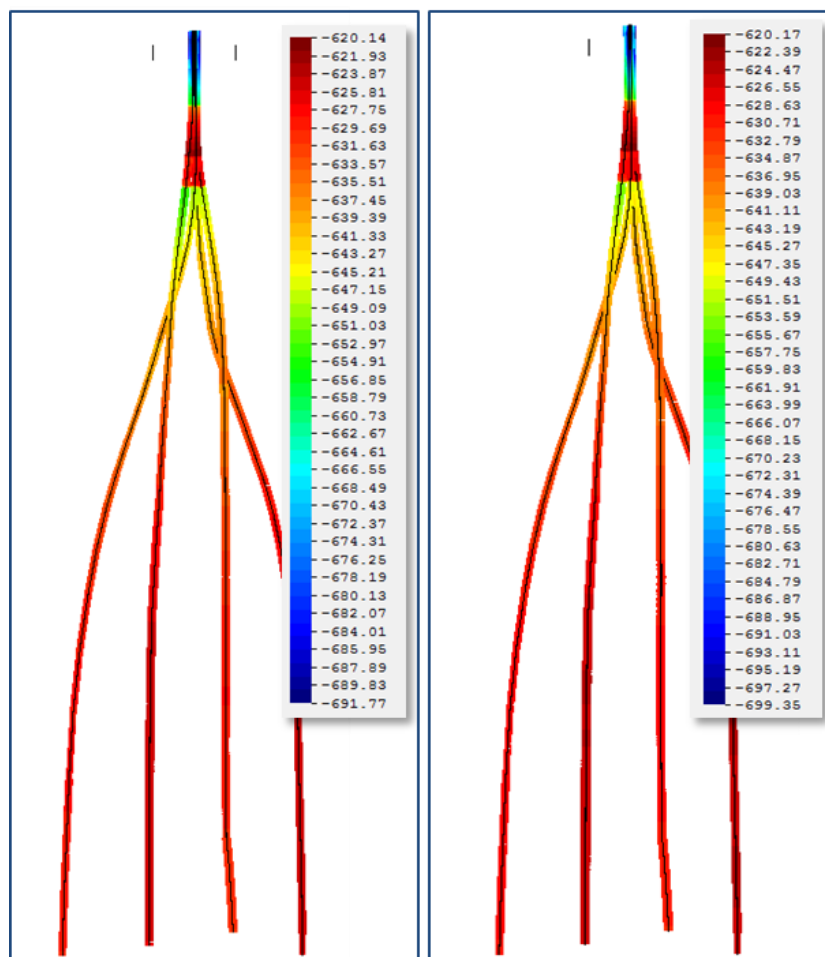


Figura 4: Potenciales polarizados productos (mV_{CSE}) en los casings. A la izquierda con 24 A desde cada uno de los dos dispersores. A la derecha los resultados con 48 A desde sólo un dispersor.

La Figura 5 muestra una comparación de la distribución de potenciales en los casings para los diseños con uno o dos dispersores. Las tramas observadas son casi idénticas y vemos que los potenciales más electronegativos que -630 mV_{CSE} llegan en ambos casos hasta la misma profundidad.

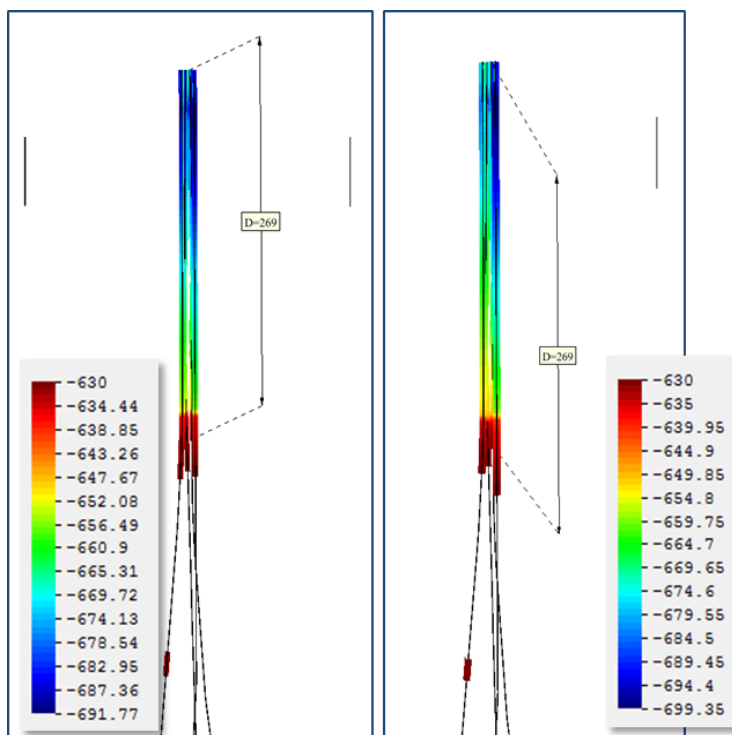


Figura 5: Potenciales polarizados calculados (mV_{CSE}) en los casings. Se aplica un límite arbitrario de $-630 mV_{CSE}$ para comparar la profundidad a la cual alcanzan esta polarización las estructuras en ambos ensayos.

Conclusiones sobre el uso de uno o dos dispersores profundos

Las simulaciones mostraron que la corriente alcanza igual profundidad en ambos modelos. El potencial más electronegativo observado en el modelo con un solo dispersor se debe a que el casing con mayor cercanía a la cama activa recibe una mayor densidad de corriente en dicho punto que en el caso de dos dispersores. Esto indica que hay una mejor distribución en el caso de dos dispersores. Sin embargo, las zonas con potenciales menos polarizados son similares en ambos casos, significando que los sistemas son igualmente efectivos en alcanzar las zonas menos protegidas, que resultan las más críticas.

Con base en estas observaciones y en la conveniencia económica de perforar un único dispersor profundo, la configuración con sólo una cama anódica es seleccionada.

Estudios Adicionales de Sistema con un Dispersor

La Figura 6 incluye una escala de colores graduada mostrando densidades de corriente en mA/m^2 . En el sistema de modelado, por convención, los valores informados en negativo indican cuando la corriente ingresa a la superficie del metal y los valores positivos indican salida de la superficie metálica hacia el terreno.

Las secciones de casing con densidades de corriente más bajas corresponden a los estratos de terreno más resistivos, ubicados entre 250 y 420 metros de profundidad. Este fenómeno no puede evitarse, ya que la resistividad del terreno define el acceso de la corriente a la superficie del casing. Sin embargo, los tramos de la estructura inmersos en suelos más resistivos también requieren menor polarización para una protección efectiva.

Los potenciales polarizados y densidades de corriente calculadas del pozo número 1 están presentados en las Figuras 7 y 8. El modelo revela una correlación directa entre resistividad del suelo y polarización.

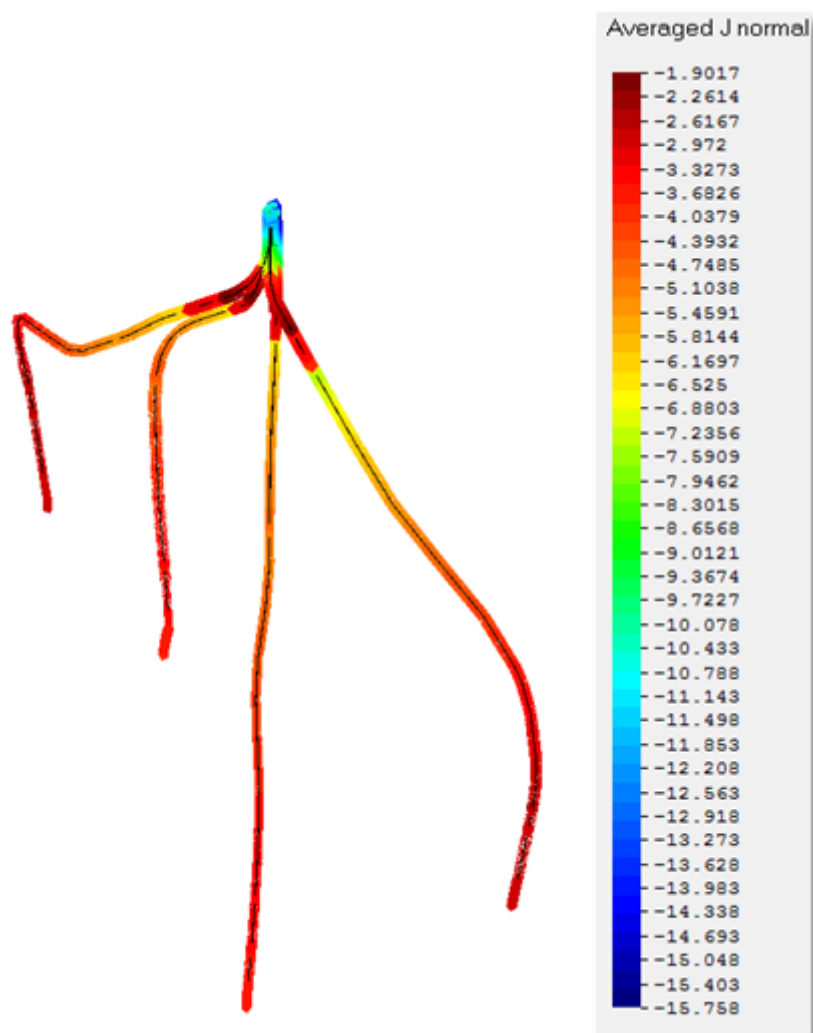


Figura 6: Densidades de corriente calculadas en casings con una corriente de 48 A desde un único dispersor profundo

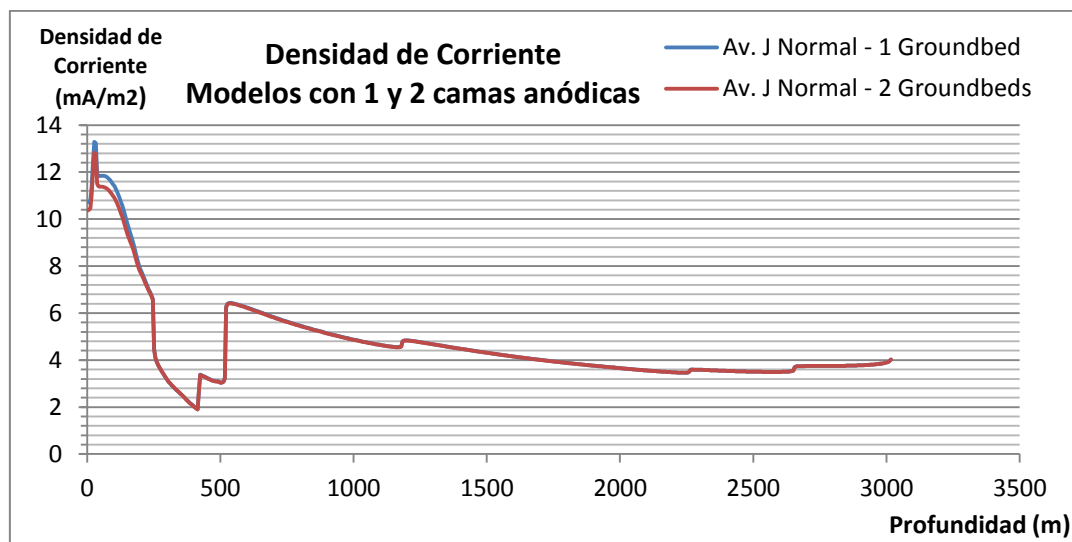


Figura 7: Densidad de corriente anticipada vs. profundidad en pozo N° 1

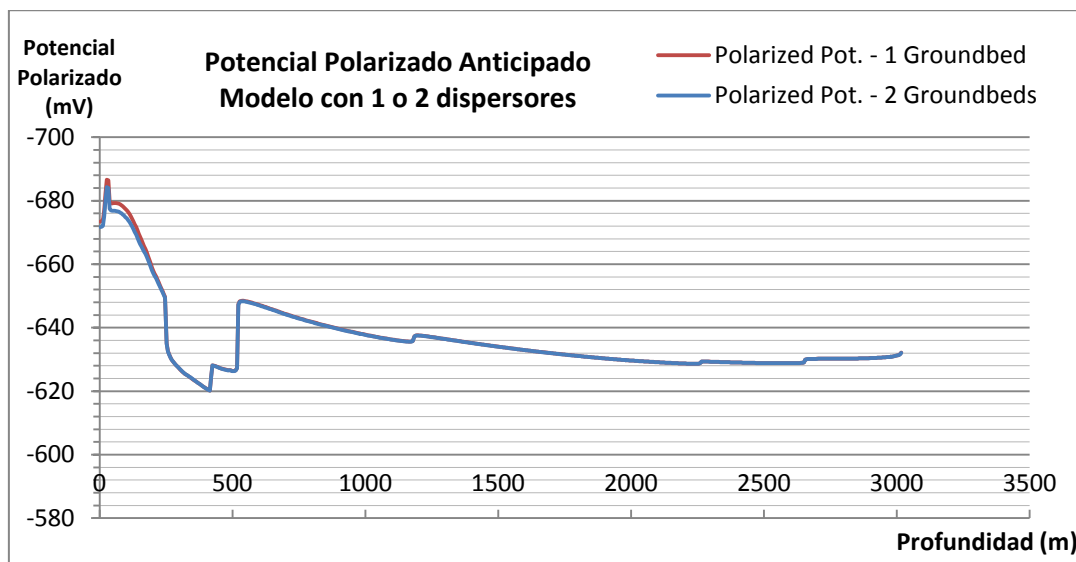


Figura 8: Potencial Polarizado anticipado vs. profundidad en pozo N°1.

Estudio Paramétrico de un Dispersor a una Mayor Profundidad

Se realizó un estudio paramétrico desplazando el dispersor Noreste a una profundidad máxima de 200 metros. La ubicación en planta del dispersor, la longitud activa de 50 metros, el diámetro de 0,3 metros y la inyección total de 48 A se mantienen idénticos al ensayo anterior.

En las Figuras 9 y 10 se presentan curvas de los potenciales polarizados anticipados por el modelo para ambas profundidades del dispersor.

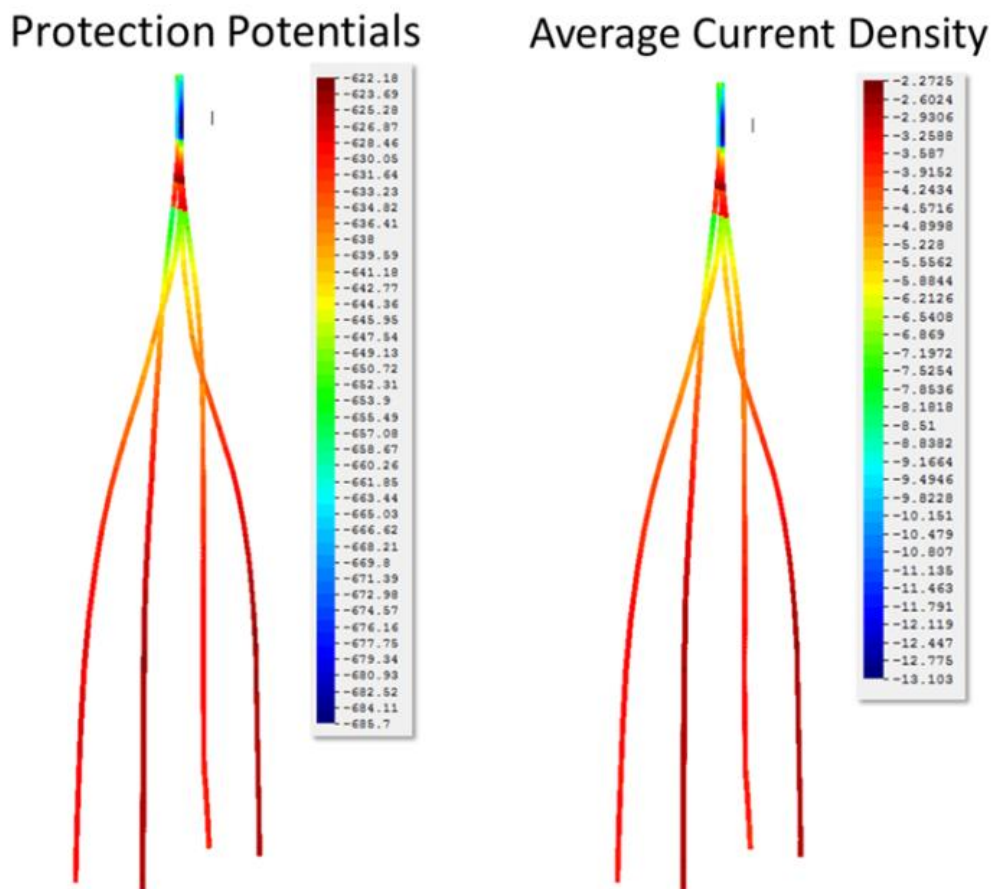
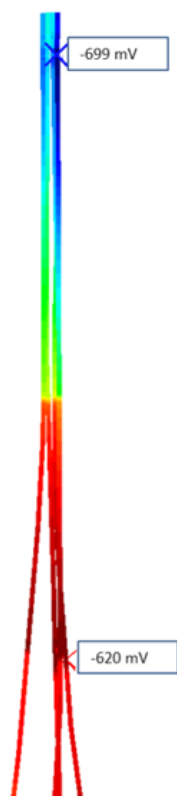


Figura 9: Izquierda: Potenciales polarizados calculados (mV). Derecha: densidades de corriente calculadas (mA/m²).

Anode at 100m depth



Anode at 200m depth

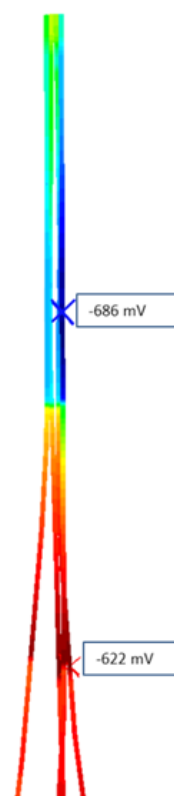


Figura 10: Comparación de potenciales polarizados calculados más electronegativos y más electropositivos (mV) con dispersor a 100 y a 200 metros de profundidad.

Los resultados de las Figuras 9 y 10 muestran que al desplazar el dispersor 100 metros hacia abajo el potencial polarizado más positivo cambia en aproximadamente -2 mV y el potencial polarizado más negativo se modifica en +13,7 mV.

Notar que el desplazamiento del dispersor hacia abajo en 100 metros a su vez desplaza el punto de potencial más electronegativo aproximadamente 165 metros también hacia abajo. La ubicación de los puntos más positivos prácticamente no se modifica.

Un límite arbitrario de -630 mVCSE se utilizó para comparar la profundidad máxima a la que las estructuras polarizan hasta este valor y para hacer otras comparaciones entre las dos profundidades (Figura 11). Para el modelo con dispersor a 200 metros de profundidad las estructuras alcanzan el potencial mencionado a 329 metros. En el caso del dispersor a 100 metros esta profundidad se alcanza a 269 metros (Figura 5).

Las Figuras 12 y 13 muestran una comparativa de potenciales y densidades de corriente calculadas a lo largo del Pozo N° 1 para ambas profundidades de dispersor. Ambas curvas muestran que al mover el dispersor 100 metros hacia abajo esto desplaza los potenciales estructura-suelo en profundidades de 0 a 250 metros hacia valores más positivos y las densidades de corriente menos intensas. Para profundidades mayores a 415 metros en la estructura, se puede ver en las Figuras 12 y 13 que la nueva ubicación del dispersor a 200 metros produce potenciales polarizados y densidades de corriente muy similares al caso original de dispersor a 100 metros.

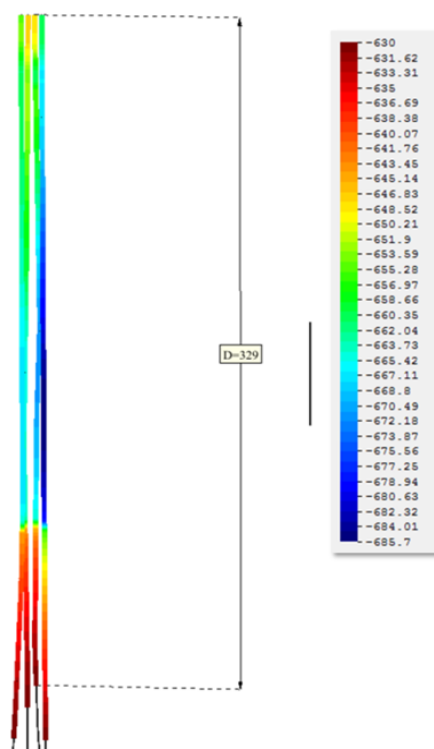


Figura 11: Potenciales Polarizados calculados (mV) en casings con dispersor a 200 m de profundidad. Se aplica un límite arbitrario de -630 mVCSE para comparar la profundidad a la que las estructuras polarizan hasta dicho valor.

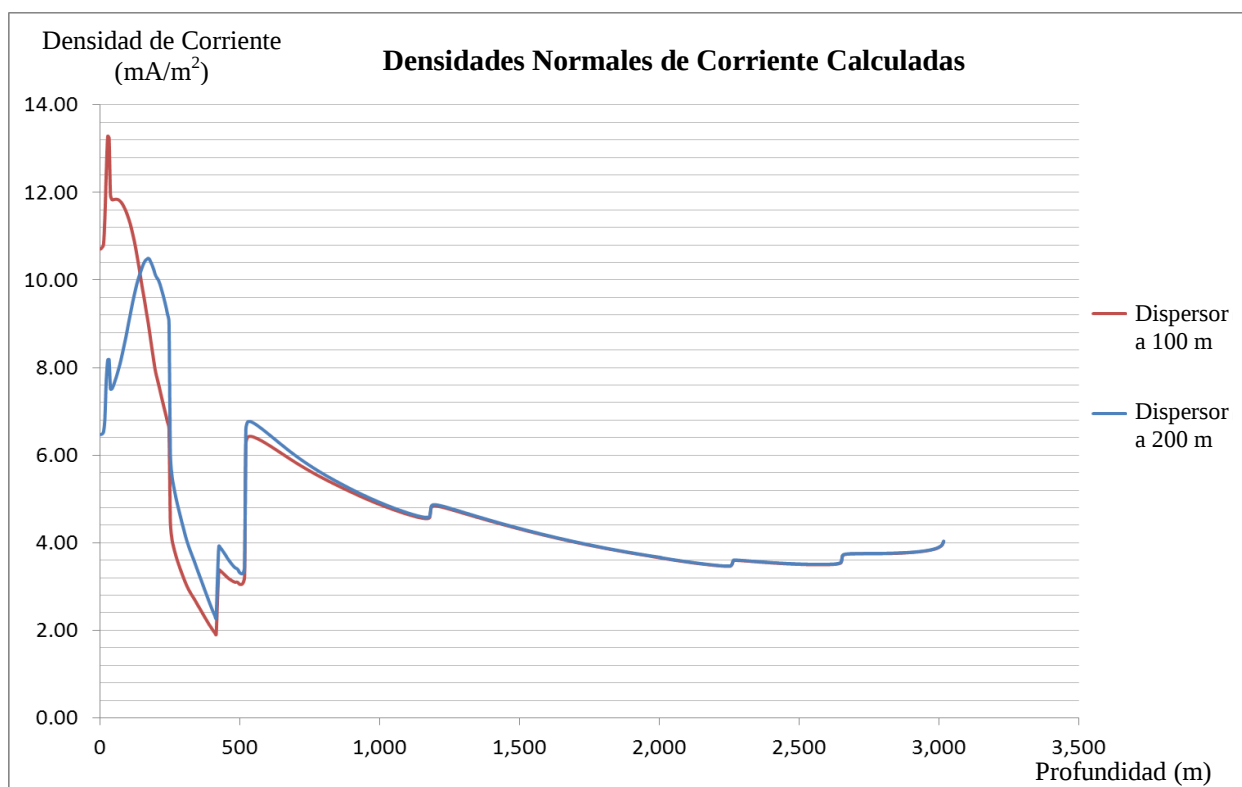


Figura 12: Gráfico comparando densidades de corriente calculadas vs. profundidad en Pozo N°1 para dos profundidades de dispersor.

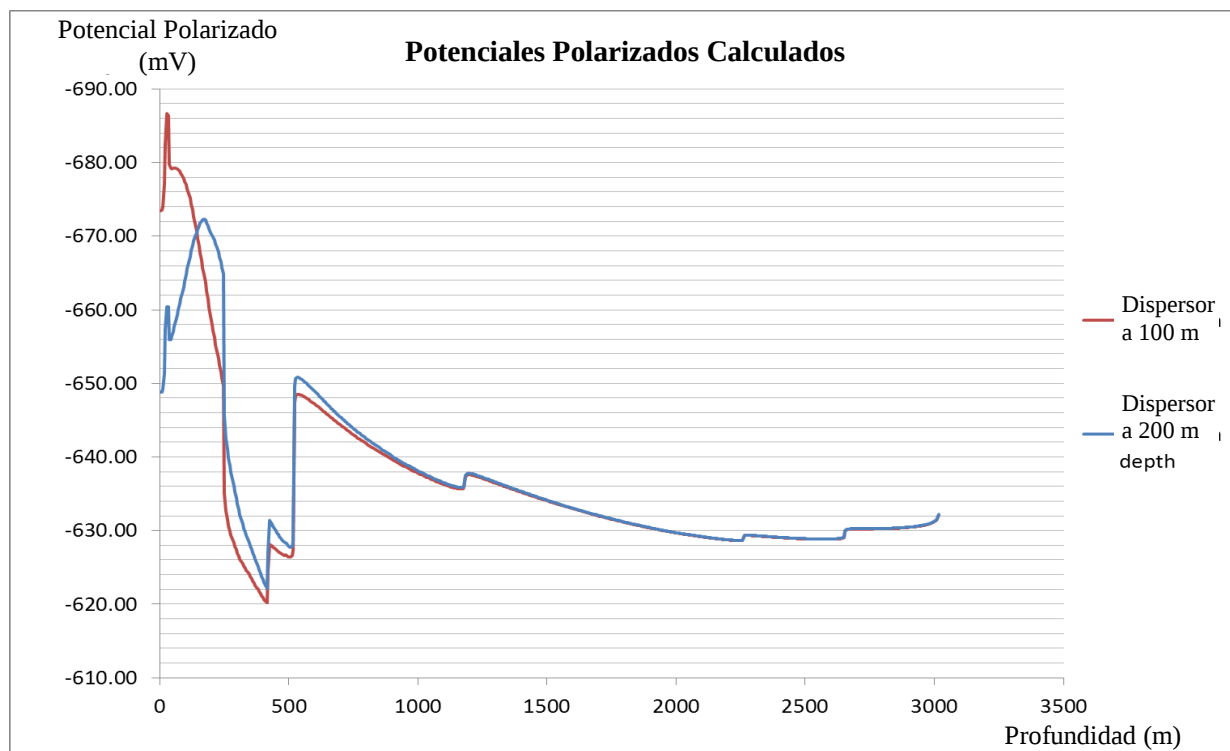


Figura 13: Gráfico comparando potenciales polarizados calculados vs. profundidad en Pozo N°1 para dos profundidades de dispersor.

Evaluación de Interferencias a Pozos Cercanos

Una de las interrogantes al comenzar este estudio trataba la posibilidad de que la protección catódica de una plataforma pudiese generar interferencias en las plataformas aledañas.

Para esto se realizó una simulación en la que se incluyó, además de la plataforma en estudio con el dispersor en la configuración elegida, los pozos más próximos a la misma. Se incluyeron tres nuevos pozos de plataformas adyacentes que en profundidad se acercan a los pozos de la plataforma en estudio y se aplicaron las mismas condiciones de operación.

El modelo predice que los pozos cercanos capturarán corriente en las secciones superiores y la descargarán en las secciones más profundas, donde la distancia a los pozos protegidos es menor. Las densidades de corriente son levemente negativas en la sección superior, más cercanas a los dispersores, y levemente positivas (anódicas) donde la distancia a los pozos protegidos es menor. La sección más anódica alcanza una densidad de corriente de 0,678 mA/m².

En la Figura 15 podemos ver una imagen del sector más anódico. De modo de dimensionar la influencia de esta interferencia se calcula la pérdida de material esperada en las secciones más afectadas. Para esto se determina la sección que presenta densidades de corriente anódicas mayores a 0,670 mA/m². Esto corresponde a un tramo de 311 metros en uno de los pozos que se acerca al pozo interferido en menos de 150 metros. Luego, usando información geométrica del casing interferido y valores típicos de pérdida de material, el cálculo arroja una pérdida de material de 0,011% anual, o una penetración, considerando una superficie expuesta del 25%, de 0,57 milésimas de pulgada por año (mil/año).

Existe una definición de nivel de penetración aceptable máxima de 1 mil/año para suponer que la corrosión es despreciable. La misma está expresada en el documento "Field Testing The Criteria For Cathodic Protection Of Buried Pipelines", (Barlo & American Gas Association, 1994) y se toma en la práctica como límite práctico de penetración anual. Se debe tener en cuenta que el valor real de penetración puede variar en función de la homogeneidad del cementado. Si la sección considerada presenta una buena cementación en su mayor parte y la superficie directamente expuesta al terreno es menor al 25% (como se consideró), la penetración puede ser mayor a la expuesta.

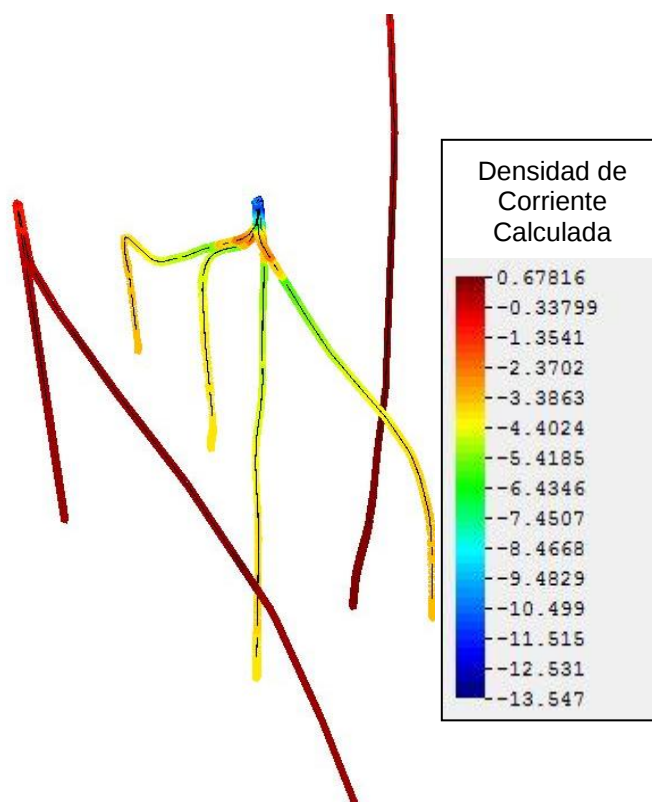


Figura 14: Vista de graduación de densidad de corriente en los casings estudiados.

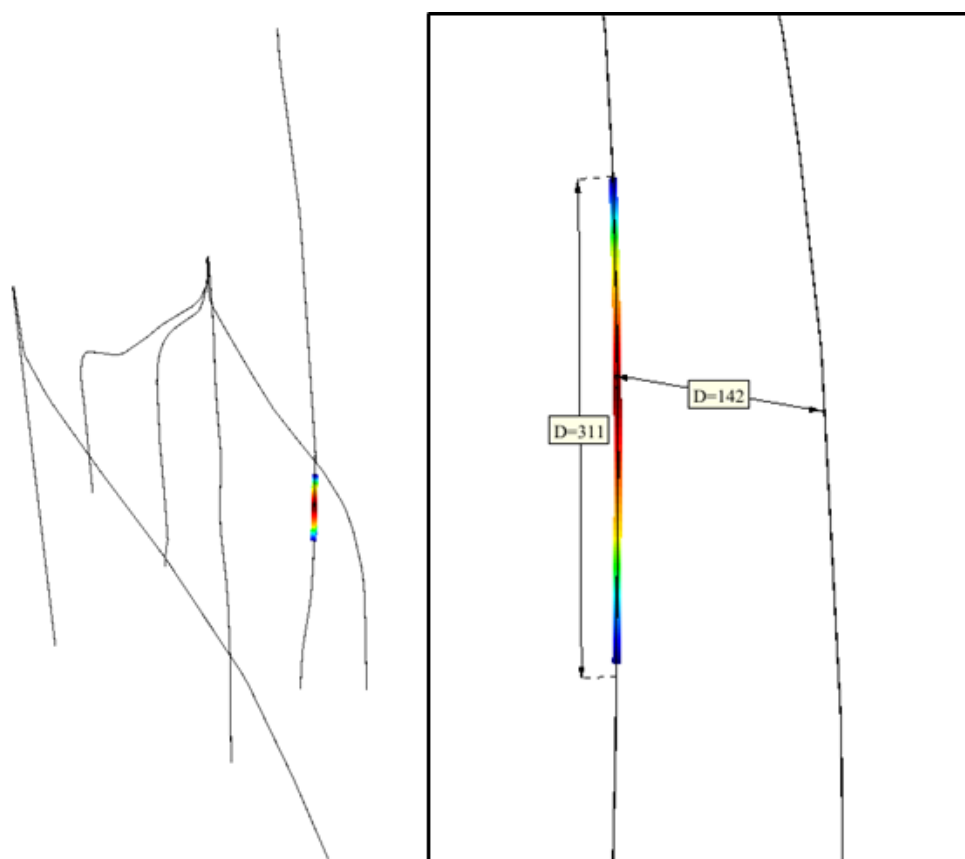


Figura 15: Imagen de la sección más anódica del pozo adyacente y detalle con dimensiones aproximadas en metros.

En la Tabla 3 se presenta un detalle de los cálculos intermedios.

Tabla 3: Detalle de cálculos de pérdida de material por interferencias

Pérdida de material en PAD vecino

Se considera la zona más interferida de uno de los pads.

Esto es, una sección de 311 metros de largo en que la densidad de corriente varía entre 0,670 y 0,678 mA/m²

Diámetro exterior	0,22442	m
Perímetro exterior	0,7050	m
Longitud considerada	311	m
Área considerada	219,27	m ²
Densidad de corriente considerada	0,675	mA/m ²
Corriente saliente en tramo	148,00	mA
Pérdida de peso de acero por corrientes anódicas	9,13	kg/(A.año)
Pérdida de peso anual en sección considerada	1,35	kg/año
Peso lineal del Guide	26,00	lb/ft
Peso lineal del Guide	38,69	kg/m
Peso total del tramo considerado	12.033	kg
Porcentaje de pérdida de masa anual	0,011%	
Penetración anual (25% de superficie expuesta)	14,58	micra/año
Penetración anual (25% de superficie expuesta)	0,57	mils/año
Penetración anual aceptable	1,00	mils/año

Evaluaciones Adicionales de Interferencias a Pozos Cercanos

Las evaluaciones adicionales incluyeron el movimiento del dispersor Noreste a una distancia horizontal de 250 metros desde las cabezas de pozos (en lugar de los 100 metros originalmente propuestos). Esto tiene el efecto asociado de acercarlo a la cabeza de uno de los pozos cercanos incluidos en el modelo.

La Figura 16 muestra cómo los efectos de la corriente interferente en el casing desconectado se incrementan apreciablemente al acercarse el dispersor. Se observa el mismo fenómeno de captura de corriente en la sección superior y descarga en profundidad para retornar a los casings protegidos y de allí al equipo rectificador. En este caso, se observan densidades de corriente anódica cercanas a 1 mA/m² en un tramo más extenso del casing al acercarse a las estructuras protegidas (en el ensayo original las densidades eran de entre 0,5 a 0,7 mA/m²).

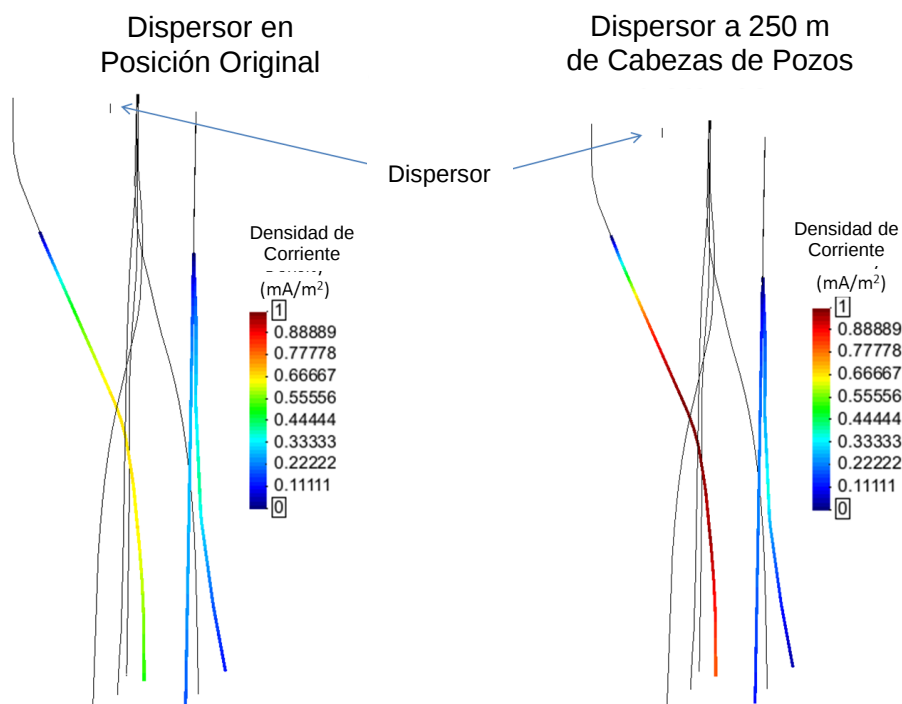


Figura 16: Comparación de corrientes anódicas (positivas) en los pozos interferidos, con dispersor en posición original (100 metros de las cabezas de pozos protegidos) y a 250 metros.

La Figura 17 muestra las densidades de corriente en las estructuras protegidas para ambas simulaciones. El efecto de desplazar el dispersor se observa principalmente en la sección más superficial (primeros 250 metros), donde las densidades de ingreso de corriente varían entre 6 a 7,5 mA/m², mientras que en el modelo original alcanzaban densidades de hasta 13,5 mA/m². Las densidades de corriente a mayores profundidades no mostraron cambios significativos. Se concluye que el alejamiento del dispersor en superficie permite una mejor distribución de la corriente. Sin embargo, esto se logra a costa de aumentar las corrientes interferentes en pozos cercanos, con lo cual se decide mantener la distancia original de 100 metros.

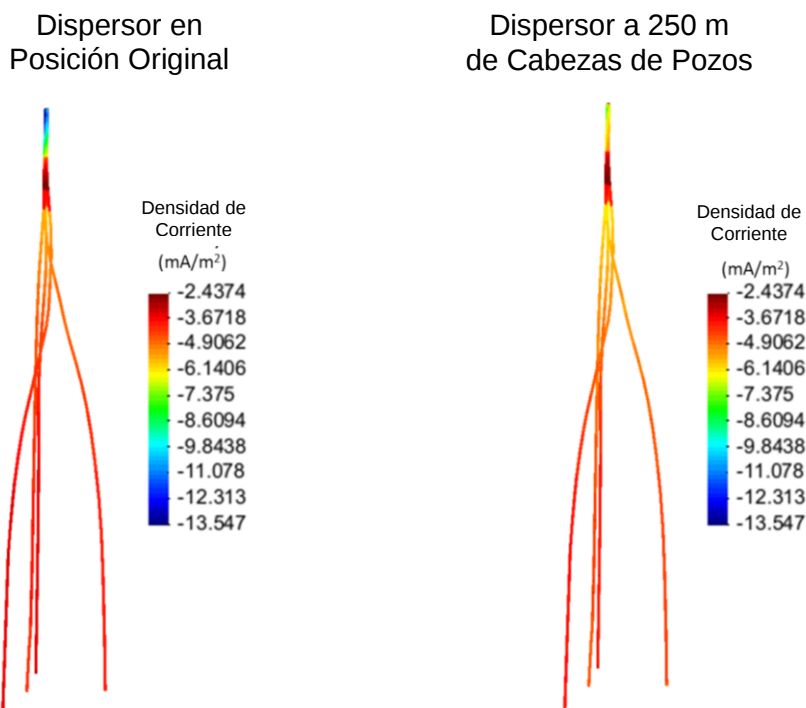


Figura 17: Comparación de densidades de corrientes catódica en los pozos de la plataforma protegida, con dispersor en posición original (100 metros de las cabezas de pozos protegidos) y a 250 metros.

Instalación

La configuración propuesta de un único dispersor profundo y un equipo rectificador. El dispersor profundo resultante contó con una zona activa de 60 metros a una profundidad máxima de 100 metros. Se utilizó un equipo rectificador automático de tecnología switching con capacidad de monitoreo y control remoto y con cuatro salidas catódicas independientes



Figura 18: Instalación de casing de dispersor profundo (izquierda) y detalle de equipo rectificador automático (derecha)



Figura 19: Personal trabajando en la instalación del equipo rectificador.

Ensayo E-log I

Una vez que se completó la instalación y las funcionalidades básicas fueron comprobadas, se condujo un ensayo E-log I. El equipo rectificador se configuró para aplicar pasos de 3 A cada 10 minutos hasta una corriente máxima de 80 A. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 20.

NACE presenta en el documento SP0168-2007 los pasos e interpretación de este ensayo. Dicho documento propone dos puntos que pueden ser considerados como la corriente requerida para protección. Ambos puntos se incluyen en la Figura 20, e indican una corriente de protección mínima de 25 A y 36 A para los cuatro pozos de la plataforma. Se sugiere confirmar este valor mediante un estudio CPP (Casing Potential Profile).

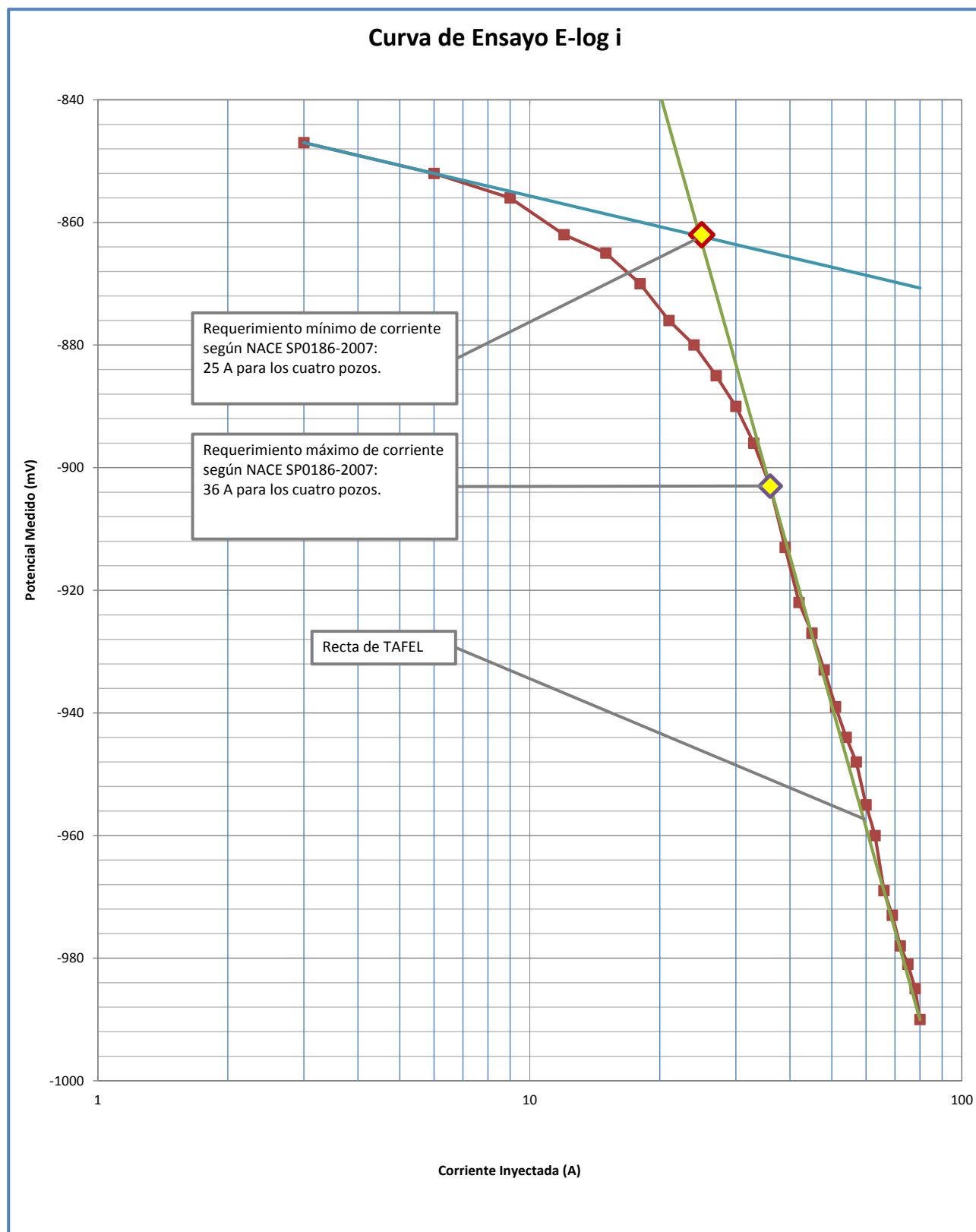


Figura 20: Curva E-log I con recta de Tafel y puntos de requerimiento de corriente.

Estructuras Vecinas

Una vez completado el ensayo E-log I, se realizaron mediciones sobre las estructuras vecinas. El equipo rectificador se configuró con una inyección total de 80 A (máxima capacidad) y se seleccionó un modo de ensayo ON-OFF durante el relevamiento.

Dos grupos de líneas superficiales se encuentran cerca de las cabezas de pozos protegidos. Un primer grupo de seis líneas aéreas (no enterradas) cruza la plataforma a 200 metros de las cabezas de pozos y 300 metros de la boza del dispersor. En este punto las mismas se entierran en un tramo de 10 metros bajo una calle. Algunas de las líneas se encuentran aisladas mediante juntas aislantes a ambos extremos del cruce, y todas poseen ánodos galvánicos para proteger la sección enterrada. Los resultados del relevamiento se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4: Potenciales estructura-electrolito CSE medidos en líneas superficiales cercanas.

En camino acceso a Plataforma									
Líneas			Diam.		Aislación		Lado Soterrado		Lado Aéreo
							Inyección 80 A		L. Sot.
							16 hs luego de iny.		L. Aéreo
							Pot ON [-mV]	Pot OFF [-mV]	Pot [-mV]
1	Linea 6"	6"	no				995	959	978
2	Linea 8"	8"	no				1029	993	973
3	Linea de Gas	6"	sí				1034	1005	978
4	RCI	8"	no				1040	1018	1008
5	Linea desnuda	4"	no				1026	1005	990
6	Linea 10"	10"	sí				1656	1652	1652

Tres líneas de producción y una de gas provenientes de las cabezas de los pozos protegidos recorren la superficie sobre soportes por aproximadamente 60 metros y luego se entierran en un tramo de 10 metros bajo un camino. Todas estas líneas poseen aislación eléctrica y ánodos galvánicos. Los potenciales relevados se encuentran en la Tabla 5.

Finalmente, se relevan potenciales estructura-electrolito en la cabeza del pozo en que se calculó la mayor interferencia. Con una inyección de 80 A a través del dispersor, el potencial estructura-electrolito en la cabeza de pozo permanece idéntico al potencial natural y no se observan variaciones debidas a la interrupción de la corriente (no se observa ciclado).

Tabla 5: Potenciales estructura-electrolito CSE medidos en líneas superficiales de producción.

Salida de ductos de producción									
Líneas			Diam.		Aislación		Lado Soterrado		Lado Aéreo
							Inyección 80 A		L. Soterrado
							16 hs luego de iny.		L. Aéreo
							Pot ON [-mV]	Pot OFF [-mV]	Pot [-mV]
1	De Pozo 1	6"	sí				1211	1170	1125
2	De Pozo 2	6"	sí				1180	1223	1135
3	De Pozo 3	6"	sí				1221	1168	1134
4	Línea de Gas	6"	sí				1248	1170	1134

Conclusiones

Se detectaron efectos menores de interferencia en líneas superficiales, mitigados satisfactoriamente por ánodos galvánicos existentes. No se observaron fenómenos de interferencia en las cabezas de pozo de casings cercanos. El ensayo E-log I concluye que el requerimiento de corriente para cada casing es de 9 A (inyección total de 36 A). Esto es menor a la corriente de diseño.

Los resultados de las simulaciones por elementos frontera pueden considerarse conservadores. Los resultados de ensayos con estos modelos pueden ser utilizados eficazmente para evaluar diferentes escenarios y realizar mejores decisiones de diseño.

El abordaje de diseño general probó ser efectivo y la densidad de corriente obtenida del ensayo E-log I puede ser usada para diseñar sistemas futuros de protección catódica para otras plataformas en el mismo campo.

Bibliografía

1. Andres B Peratta, John M W Baynham, and Robert A. Adey; Enhancing Design And Monitoring Of Cathodic Protection Systems For Deep Well Casings With Computational Modeling, paper 10399, presented at NACE Corrosion 2010, San Antonio, TX, March 2010.
2. NACE International. (2013, 10 04). NACE SP0169-2013 Standard Practice Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems. Houston, TX: NACE International.
3. NACE International. (2007, 03 10). NACE SP0186-2007 Standard Practice, Application of Cathodic Protection for External Surfaces of Steel Well Casings. Houston, TX: NACE International.
4. Deep Anode Systems: Design, Installation, and Operation, T.H. Lewis Jr. (Author), pub NACE, TX, 2000 (ISBN-13: 978-1575901114)

Autores

Norberto Aldo Pesce

Ing. Eléctrico-Electrónico de la U. Católica de Córdoba. Especialista NACE N° 9068. Socio fundador y Gerente General de Omnitronic S.A., empresa dedicada a brindar servicios de protección catódica desde 1992.

Norberto Antonio Pesce

Ing. Mecatrónico de la U.N.Cuyo y E.N.I.Brest. Especialista NACE N° 36159. Gerente de Ingeniería de Omnitronic S.A., empresa dedicada a brindar servicios de protección catódica desde 1992

Héctor C. Albaya

Ing. Químico de la U.B.A. Especialista NACE N° 7420 e Instructor NACE. Socio fundador y Gerente General de Sistemas de Protección Catódica S.A., empresa dedicada a brindar consultoría y servicios de protección catódica.