

EXPERIENCIAS EN PROTECCION CATODICA DE CAÑERIAS DE ENTUBACION EN EL AREA ENTRE LOMAS

¼ de siglo controlando la corrosión externa de casings

Raúl A. Suárez
Petrolera Entre Lomas S. A.
Eduardo Espiñeira
Transportadora de Gas del Sur S. A.

RESUMEN

En este trabajo se muestran los resultados obtenidos en la operación de un sistema de protección catódica de cañerías de entubación (*casings*), aplicado a la totalidad de los pozos que se operan en el Area Entre Lomas. En él se describe la incidencia de cada uno de los componentes sobre el funcionamiento del sistema.

La aplicación de la protección catódica a los pozos ha permitido reducir la cantidad de roturas de *casing*, con una evolución entre 0 y 1 por año en los últimos 4 años y además se logró extender la vida útil de los *casings* de 8 a más de 24 años.

INTRODUCCION

Petrolera Pérez Companc S.A. opera el Area Entre Lomas desde 1968 (ver **Figura 1**). A partir del año 1976 se comenzaron a detectar roturas de *casings* por corrosión externa en los pozos productores.

En el año 1978 se implementó, a modo de piloto, el primer sistema de protección catódica para luego, en 1981, comenzar el proyecto definitivo como medida tendiente a aumentar la vida útil de los *casings* mediante la disminución de la velocidad de corrosión externa.

La incorporación de la mayoría de los pozos productores al sistema de protección catódica se alcanzó en el año 1991 con el 97 % de los *casings* conectados, situación que con fluctuaciones se ha mantenido hasta la fecha.

La evaluación del funcionamiento del sistema de protección catódica aplicada en el Area Entre Lomas se realiza en forma continua desde su inicio. Desde entonces el sistema ha tenido transformaciones, en sus componentes y en la forma de operación, que han servido para mejorar el desempeño hasta lograr los resultados que aquí se muestran.

El análisis del comportamiento del sistema de protección catódica se ha sustentado en una base de datos electrónica y la evaluación del desempeño se ha encuadrado en las siguientes consideraciones:

- a) La extensión del sistema de protección catódica analizado, que abarca el 97% de los *casings* del Area y que permite una evaluación integral.
- b) El elevado factor de servicio del sistema, el cual se ha considerado como el elemento

fundamental que ha contribuido al resultado del proyecto.

- c) El prolongado período de tiempo del proyecto, que alcanza los 24 años.

DESARROLLO

1) Descripción del sistema de Protección Catódica

Actualmente el sistema de protección catódica de *casings* esta compuesto por:

- 103 pozos dispersores profundos completados con ánodos de grafito y coque de petróleo calcinado.
- 103 equipos rectificadores, con aproximadamente 200.000 m de líneas de retorno de la corriente
- 471 cañerías de entubación de pozos (aprox. 600.000 m de *casing*)

Estos elementos se vinculan entre sí según el esquema de la **Figura 2**, formando grupos compuestos por 1 equipo rectificador, 1 pozo dispersor y de 3 a 6 *casings*, vinculados todos entre sí por medio de cableado aéreo.

Casings

Los *casings* son los elementos cuya vida útil se busca prolongar mediante la aplicación de la protección catódica.

Los *casings* tienen diámetros de 5 ½ in. ó 7 in. con una profundidad promedio de 2400 m, y un tope de cemento entre los 1700 y 1800 m. La mayoría de las roturas por corrosión externa han aparecido en cañerías de 5 ½ in. de 17 lb/pie y a profundidades de hasta 400 m.

La causa de las roturas de *casings*, que dio origen a la aplicación de la protección catódica, fue definida inicialmente como "corrosión por corrientes galvánicas localizadas que ven facilitado el accionar debido a la heterogeneidad del suelo que atraviesan".¹

La resistividad del subsuelo en contacto con los *casings* oscila entre 0,5 y 7 ohm/m y es casi similar a la resistividad del terreno en contacto con el pozo dispersor; siendo este un factor importante en el desempeño del sistema de protección catódica.

La cantidad de corriente de retorno necesaria para disminuir la corrosión externa de cada *casing*, se ha fijado basándose en los perfiles de micropotenciales de *casing* (CPP) corridos en pozos adecuadamente elegidos. Los valores de corriente para las dos zonas en que se encuentra dividida el Area son:

Charco Bayo y Piedras Blancas:	8A
Entre Lomas, Lomas de Ocampo y El Caracol:	7A

Con los valores de corriente adoptados se ha logrado disminuir el avance de la corrosión de 38,1 *mpy* (milésimas de pulgada por año) a valores entre 1,1 y 7,7 *mpy*. **Figura 3**

Los cables cortados son especialmente perjudiciales debido a que el dispersor sigue funcionando y por lo tanto todos los *casings* que lo rodean captan la corriente que les viene a través del terreno. Si un *casing* tiene el cable de retorno cortado la corriente se drena en zonas donde la resistividad del terreno atravesado es mas baja, produciendo corrosión en lugar de protección.

La línea de conducción del pozo productor se aísla eléctricamente del *casing* mediante un niple dieléctrico. Si este niple queda enterrado no cumplirá la función de aislación ya que la corriente circulará a través del terreno circundante produciendo la disminución de la densidad de corriente captada por el *casing*.

Después de 24 años de operación del sistema de protección catódica de *casings* se observan los siguientes resultados:

- 1) La evolución anual de roturas en los últimos 10 años se encuentra estabilizada entre 0 y 2 con un pico máximo de 4, ocurridas en el año 1995, en *casings* que permanecieron lapsos de tiempo superiores a los 10 años sin protección catódica. **Figura 4**
- 2) Un 15% de pozos actualmente dentro del sistema no han tenido roturas de *casings*, aún cuando carecieron de protección catódica por lapsos de tiempo mayores de 10 años.
- 3) En los *casings* de 252 pozos perforados durante los últimos 24 años, con protección catódica desde un principio, se han experimentado solamente 6 roturas (2.3 %) Mientras que en un grupo de 227 pozos perforados desde 1960 a 1975, con la aplicación de la protección catódica después de un lapso prolongado de tiempo, se experimentaron 165 roturas (72.6 %). **Figura 5.**
- 4) La efectividad de la protección catódica se ve también en pozos con tramos de cañerías reemplazadas. De un grupo de pozos perforados en el período que va de 1968 a 1971, se observa que la aplicación de la protección catódica posterior al *casing patch* les ha aumentado la vida útil, de 8 a mas de 24 años. **Figura 6**

Pozos dispersores

El sistema de protección catódica de *casings* se mantiene en un esquema dinámico con la incorporación de nuevos pozos dispersores cada vez que se perforan y ponen en producción nuevos pozos productores. Estos están distanciados aproximadamente 600 m entre sí y los pozos dispersores se localizan, en lo posible, en el centro geográfico de grupos de hasta 6 pozos.

Los pozos dispersores se perforan con trépanos de 12 ¼ in. hasta una profundidad máxima de 140 m. Tienen ánodos de grafito de 3 in. por 1,5 m de longitud instalados por debajo de los 50 m, para evitar el fenómeno de interferencia, y son completados con coque de petróleo calcinado.

Desde el comienzo del proyecto los pozos dispersores se diseñan y construyen para una vida útil de 10 años.

Hasta 1994 los pozos se rellenaron con canto rodado desde el nivel superior del coque hasta la superficie. Actualmente, se los encamisa con un caño de PVC de 10 in. sin relleno.

En el año 1993 se observo el agotamiento de algunos pozos dispersores debido al aumento de la resistencia total del circuito que dificultaba el suministro de la corriente necesaria para proteger los *casings*. Esto dió inicio a la reposición de los pozos que se iban agotando y el ritmo de las perforaciones fué basado en mantener el sistema con un elevado factor de servicio.

La información graficada del agotamiento de pozos dispersores ha permitido elaborar una línea de tendencia de reposición cuya aplicación, en la proyección a futuro, se considera necesaria para mantener el factor de servicio. **Figura 7**

La vida útil promedio de los pozos dispersores es de aprox. 16 años. El 26% de los pozos perforados hasta la maduración del proyecto que aún funcionan, tiene más de 19 años y sus resistencias son inferiores a 1 ohm. **Figuras 8 y 9**

Algunos pozos dispersores (5) han tenido una vida útil inferior a los 10 años aún cuando trabajaron dentro de los parámetros de diseño. Esto se ha debido a cables de ánodos cortados por el desmoronamiento del pozo producido al consumirse el coque y desplazarse hacia abajo el relleno de canto rodado.

El principal factor que incidió en la prolongación de la vida útil fue la mayor duración del coque de relleno debido a las bajas densidades de corriente circulantes.

La densidad de corriente de los pozos que se han reperforado con igual diseño al inicial da en promedio 0,52 A / m², que es la mitad de lo aconsejado por la bibliografía² para la condición más desfavorable de terreno seco como es nuestro caso. **Figura 10.** Bajo esta condición se observa que la vida útil de un pozo dispersor en Entre Lomas es más dependiente del consumo del coque que de los ánodos.

Con la forma constructiva adoptada, encamisado sin relleno de canto rodado que permite reponer el coque consumido y la adecuada elección del material del cable de los ánodos, se espera prolongar aún más la vida útil de los pozos dispersores.

Rectificadores

La mayoría de los equipos rectificadores instalados son trifásicos de 380 Volts con capacidad para trabajar con resistencias del circuito del sistema de hasta 2 ohm. La regulación de la corriente captada por cada tubería la realiza el Supervisor de Producción en forma manual.

Estos equipos han demostrado ser de alta confiabilidad y han contribuido a mantener un elevado factor de servicio. Durante el año 2002 sobre 66 interrupciones del funcionamiento del sistema, sólo 16 correspondieron a problemas del rectificador. **Figura 11**

2) Monitoreo del sistema de superficie

Inicialmente el control del funcionamiento del sistema estuvo a cargo del sector Ingeniería. Actualmente, debido a la extensión del mismo y la necesidad de intensificar los controles, el seguimiento es supervisado en forma conjunta por los Sectores de Producción, Mantenimiento e Ingeniería.

La frecuente supervisión del funcionamiento de los componentes críticos del sistema y su inmediata reparación ha sido fundamental para asegurar un factor de servicio lo mas alto posible. Esta forma de trabajo se ha optimizado desde hace aproximadamente 2 años. Los Supervisores de Producción toman trimestralmente lecturas de los valores de tensión de trabajo de los rectificadores, la corriente de retorno y relevan novedades, anotando los datos que luego formarán parte de la información para el Tablero de Control.

Durante las recorridas habituales el Supervisor de Producción observa el estado de la conexión del cable a la cabeza del pozo informando las anomalías detectadas al Líder de Protección Catódica y éste, al Supervisor de Mantenimiento Eléctrico para que coordine las reparaciones en forma inmediata.

Durante el año 2002, el corte de los cables de retorno conectados a la cabeza del pozo y dentro de la locación han sido el origen del 70 % de las interrupciones del funcionamiento del sistema. Es importante verificar el estado de la conexión del cable con la cabeza del pozo, sobre todo después del trabajo de equipos de *Workover* o *Pulling*. **Figura 11**

3) Control del funcionamiento general del sistema

La eficiencia del funcionamiento del sistema se controla y registra, por un lado, con la información relevada por los Supervisores de Producción que luego es asentada en el Tablero de Control, y por otro lado, mediante la interpretación de los perfiles de micropotenciales(*CPP*) y de corrosión. (*Vertilog*)

Tablero de control

El Tablero de Control es la herramienta de seguimiento del funcionamiento de los componentes sistema y permite además evaluar el resultado de los trabajos realizados para mantener un elevado factor de servicio. **Figura 12**

La variable elegida para el monitoreo del funcionamiento del sistema de protección catódica de casings es el Factor de Servicio (*F_s*) y se define con la siguiente fórmula:

$$F_s = N_{ep} / N_{cp} * 100$$

Siendo:

F_s: Factor de servicio

N_{ep}: Número de *casings* efectivamente protegidos. (información provista por los Supervisores de Producción)

N_{cp}: Número total de *casings* con instalación de protección catódica.

El objetivo es que *F_s* sea al menos 95 % para todo el sistema, siendo el valor de alarma 85%.

Perfil de Corrosión (*Vertilog*)

Es una herramienta que mide las pérdidas de espesor de pared por corrosión aportando información de la efectividad del sistema de protección catódica. Resulta útil correrlo conjuntamente con el perfil de micropotenciales (*CPP*) para comparar las zonas corroídas con las zonas anódicas de la cañería.

El perfil de corrosión permite discernir si la causa de la rotura de un *casing* es debida a la corrosión interna o externa y, por lo tanto, asignar o no la falla al sistema de protección catódica.

La sensibilidad de la herramienta esta limitada a detectar defectos mayores del 20% del espesor de pared del *casing* y la exactitud de los *pittings* medidos es de $\pm 15\%$ de la profundidad del defecto³. De acuerdo a esto es importante la correcta calibración de la herramienta.

Teniendo en cuenta que el 20 % del espesor de pared de un *casing* de 5 1/2 in. 17 lb/pie es de 60,8 milésimas de pulgada, y que con la protección catódica el avance de la corrosión es en algunos casos 7 mpy, se debería correr el perfil recién a los 8,6 años para tener valores registrables por el perfil de corrosión.

Para determinar si la velocidad de corrosión de los *pittings* en un *casing* con protección catódica se puede asimilar en forma práctica a una función y así poder definir con mas precisión la posible vida útil de los *casing* bajo protección, se corrieron los perfiles de corrosión y de micropotenciales en dos pozos nuevos a los dos años de su terminación. **Figuras 13 y 14**

En los perfiles se observó lo siguiente:

1. El porcentaje de pérdida de espesor de pared máximo en un lapso de 2 años fué del 34 y 40 % respectivamente.
2. Las pérdidas de material de las zonas anódicas de los perfiles de micropotenciales son de bajo valor y no existe concordancia con las pérdidas del espesor de pared que manifiestan los perfiles de corrosión.(*Vertilog*)
3. Hay puntos de pérdidas importantes de espesor de pared del *casing* cerca de la cañería guía.
4. El porcentaje de pérdida del espesor de pared, medido por el perfil de corrosión, en ambos casos es mayor que si los *casings* no hubieran tenido protección catódica.

Se presume que las pérdidas del material informadas por el perfil de corrosión podrían tener otro origen, como ser corrosión de origen bacteriano por contaminación de la capa acuífera en contacto con el *casing*, favorecida por aditivos químicos del lodo de perforación⁴.

Para identificar la posible causa de esta situación de reciente aparición se considera realizar cultivos de bacterias en *casings* recuperados de un pozo al cual se le practique la reparación por medio de la técnica del *casing patch*.

Por todo lo expuesto anteriormente, se puede considerar que el perfil de corrosión por si solo no permite una completa evaluación de un sistema de protección catódica y debe ser acompañado de un análisis mas integral.

Perfil de micropotenciales (CPP)

Es una herramienta que ha resultado adecuada para obtener información sobre la influencia de la protección catódica en la corrosión del *casing* de un pozo y sirve para determinar la cantidad de corriente necesaria para protegerlo, evaluar interferencias y obtener una idea de la posible vida útil de la cañería de entubación.

La protección efectiva contra la corrosión externa de los *casings* consiste en eliminar las zonas anódicas mediante la captación, en niveles adecuados, de corriente en toda la longitud del *casing* desde el tope de cemento hasta la cañería guía. El logro de esta condición esta reflejada en la cantidad de roturas experimentadas.

Para correr el perfil de micropotenciales en un pozo es necesario establecer un buen contacto eléctrico entre el *casing* y la herramienta. Se puede lograr esto de dos formas: con el *casing* lleno de petróleo deshidratado o con el *casing* vacío.

En Entre Lomas se han realizado de las dos formas pero la opción de cañería vacía permite establecer contacto herramienta-*casing* en forma mas rápida. La utilización de una u otra forma depende de la conveniencia económica.

Debido a las características del perfil de micropotenciales, el valor de la pérdida de material del *casing* corresponde al valor promedio de avance de la corrosión en el tramo abarcado por la herramienta.

Como la velocidad de avance de un *pitting* de corrosión localizada es de naturaleza estadística, y asumiendo similitud con lo experimentado en ductos en superficie, se adoptó un factor de 3 para multiplicar por los *mpy* de los perfiles⁵. De esta forma se puede obtener una idea del tiempo que podría transcurrir hasta la aparición de la primer rotura.

Del análisis de un grupo de perfiles de micropotenciales corridos en Entre Lomas se ha observado:
Figura 3

1. Regulando la corriente captada por la cañería de entubación entre 6.5 y 13 A, es posible bajar la pérdida de material por corrosión a valores entre 1,2 y 7,7 *mpy*. Esto corrobora lo expresado por algunos autores⁵ que mencionan que con la protección catódica se pueden lograr valores inferiores a 5 *mpy*.
2. Un valor único de corriente para proteger a grupos de casings no reduce en igual medida las zonas anódicas de cada cañería. Para que ello suceda, se debería regular a cada *casing* con valores diferentes de corriente con la dificultad que esto implica.
3. La posible vida útil hasta la primer rotura, de un *casing* de 5 ½" 17 lb/pie, se estima alrededor de los 40 años.

CONCLUSION

La aplicación de la protección catódica a todos los *casings* del Area Entre Lomas, con un mantenimiento y seguimiento de la operación adecuados, ha permitido mitigar los efectos de la corrosión externa originada por pares galvánicos con resultados muy satisfactorios.

RECOMENDACIONES

De la experiencia acumulada durante 24 años de operación de un sistema de protección catódica de *casing* se recomiendan las siguientes pautas, tanto para el diseño como para su operación:

- a) Incorporar los pozos nuevos al sistema de protección catódica inmediatamente de puesto en producción.
- b) Adoptar el esquema de pozos dispersores profundos.

- c) Lograr un elevado factor de servicio del sistema, realizando inspecciones periódicas frecuentes y reparaciones del sistema en forma inmediata de ocurrida la interrupción del servicio.
- d) Correr anualmente perfiles de micropotenciales y de corrosión en pozos adecuadamente seleccionados para verificar si los parámetros de operación del sistema son los mas apropiados.

EXPERIENCIAS EN PROTECCION CATODICA DE CAÑERIAS DE ENTUBACION EN EL AREA ENTRE LOMAS

Raúl A. Suárez Petrolera Perez Companc S. A.
Eduardo Espiñeira Transportadora de Gas del Sur S. A.

BREVE CURRUCULUM DE LOS AUTORES

Raúl A. Suárez se graduó como ingeniero mecánico en la Universidad de la Patagonia “San Juan Bosco” (Comodoro Rivadavia). Inició sus actividades profesionales en 1971 en Amoco (hoy Pan American Energy) en el Yacimiento Cerro Dragón, luego se desempeñó como ingeniero de instalaciones de superficie y equipos, donde se inició en la actividad de la protección catódica, y posteriormente como ingeniero en el control de calidad de materiales y equipos. En 1986 ingreso a Petrolera Pérez Companc S.A como ingeniero de proyectos en instalaciones de superficie y desde comienzos de 1993 a la fecha, tiene también a su cargo la protección catódica del Área Entre Lomas.

Eduardo Espiñeira se graduó de técnico mecánico en la ciudad de Buenos Aires. Inició sus actividades laborales en 1964 en la ex Gas del Estado. En esta empresa se desempeño en diversas actividades tales como proyectista, supervisor de operaciones de Plantas y responsable de Protección Anticorrosiva de Gasoductos. En 1979 ingresó a Petrolera Pérez Companc S.A como líder de la Protección Anticorrosiva de Instalaciones del Área Entre Lomas. Desde 1992 se desempeña en Transportadora de Gas del Sur SA como Gerente de Integridad de Gasoductos. Ha tenido activa participación en numerosos congresos y publicado varios artículos técnicos.

BIBLIOGRAFÍA

- ¹ Espiñeira, E. “Protección catódica en cañerías de entubación en el yacimiento Entre Lomas”
- ² Eltech System Corporation “Deep anode groundbed design and installation guidelines”
- ³ NACE Standard RP0186-2001 “Application of Cathodic Protection for External Surfaces of Steel Well Casings”
- ⁴ Kirklen, Charles. “Effectiveness of well casing cathodic protection-An analysis”
- ⁵ Hansen, D.A., Boah, J.K., Sheikh, A.K., “Pipeline-life assessment based on a Leak-Growth model”
- ⁶ Gast, W. F. “A 20- year review of the use of cathodic protection for well casings”

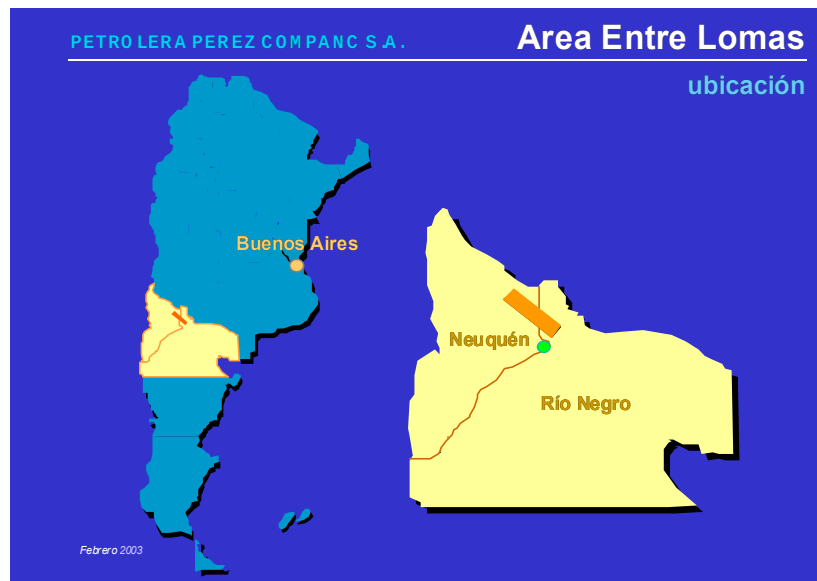


Figura 1: Area Entre Lomas

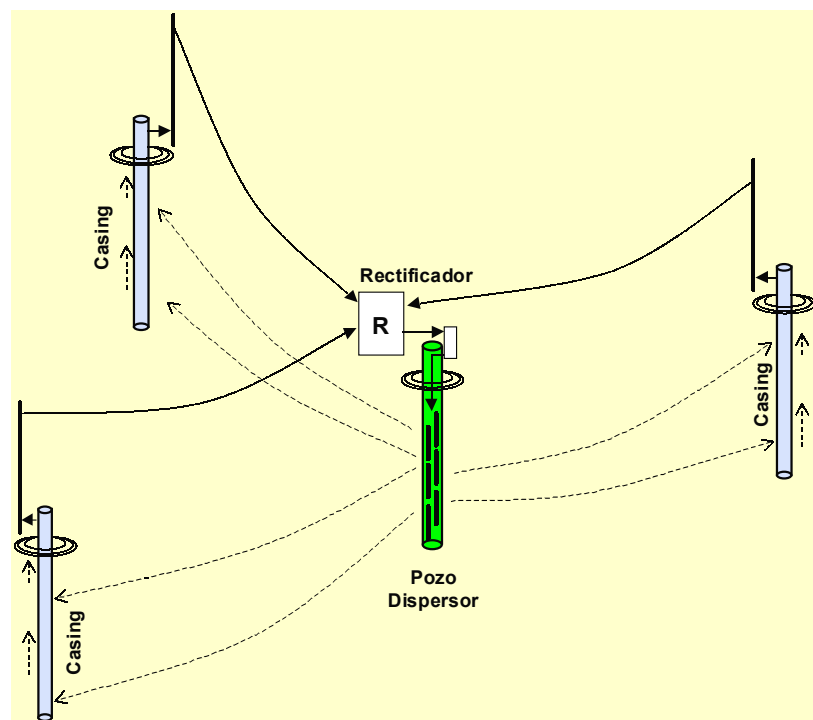


Figura 2: Esquema de la protección catódica de *casings*

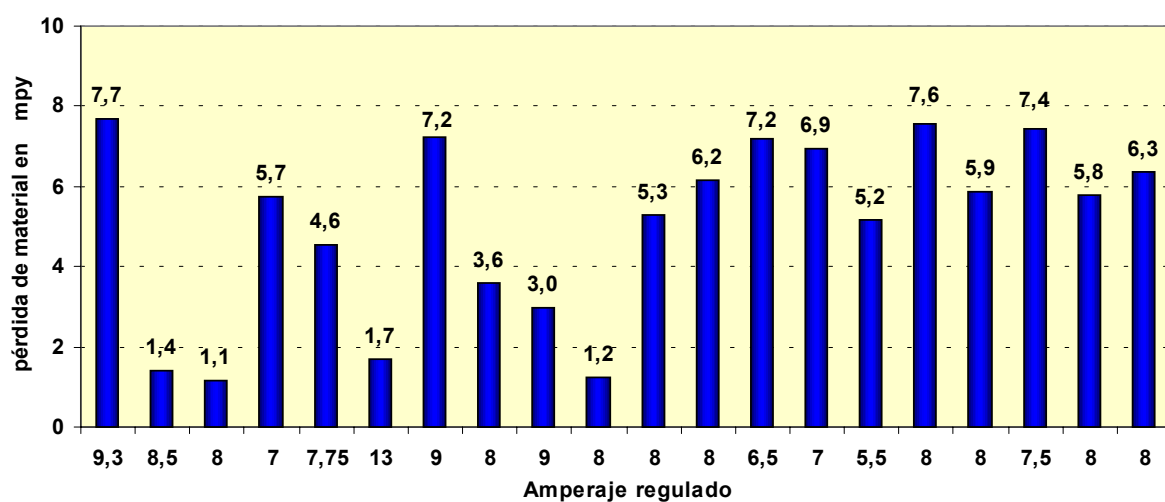


Figura 3: Pérdidas de material extraídos de los CPP

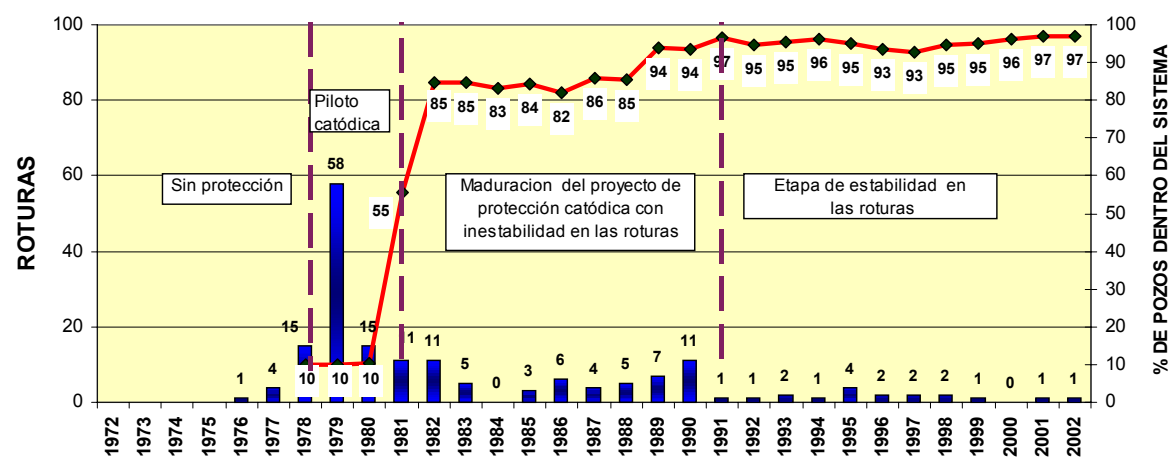


Figura 4: Evolución de las roturas de casings

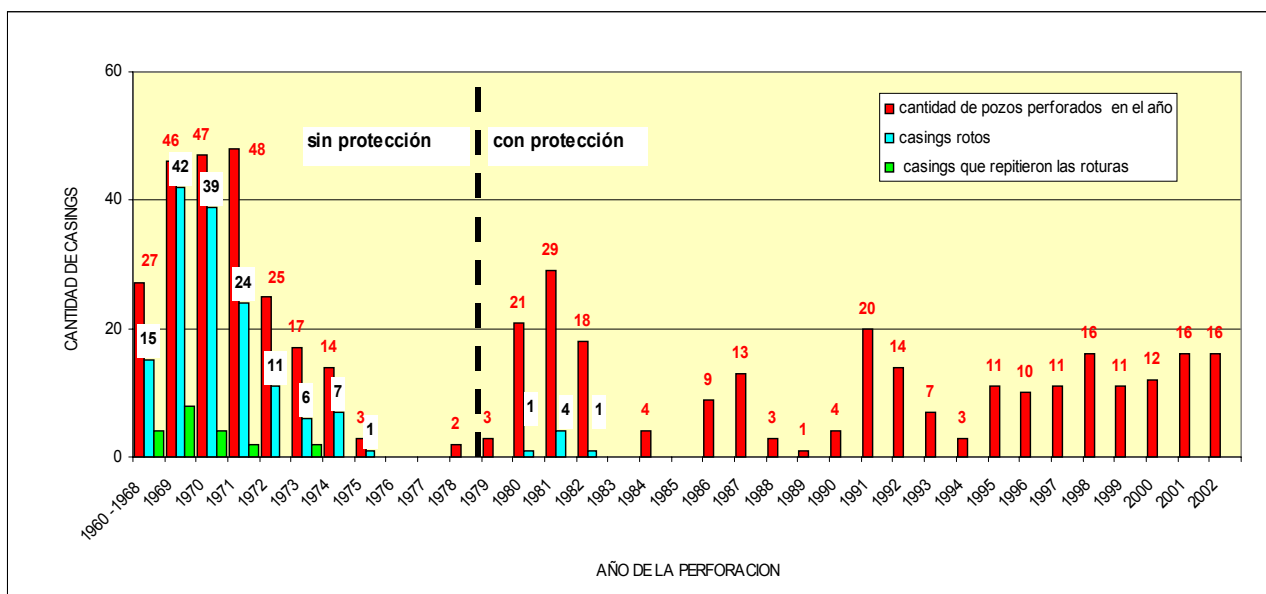


Figura 5: Casings de cada campaña de perforación con roturas

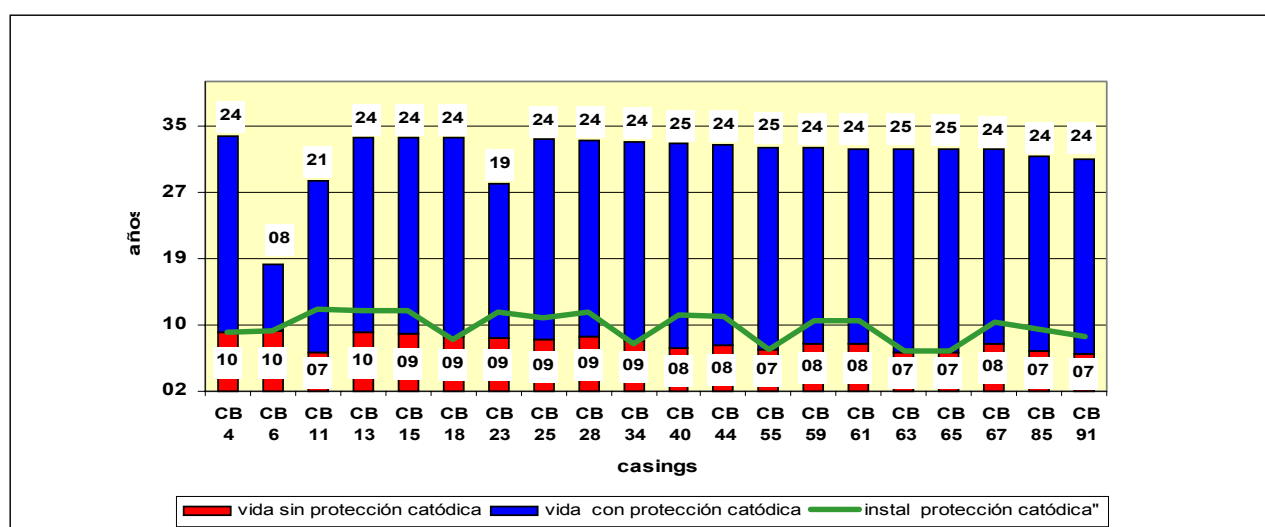


Figura 6: Prolongación de la vida útil por protección catódica post Casing Patch

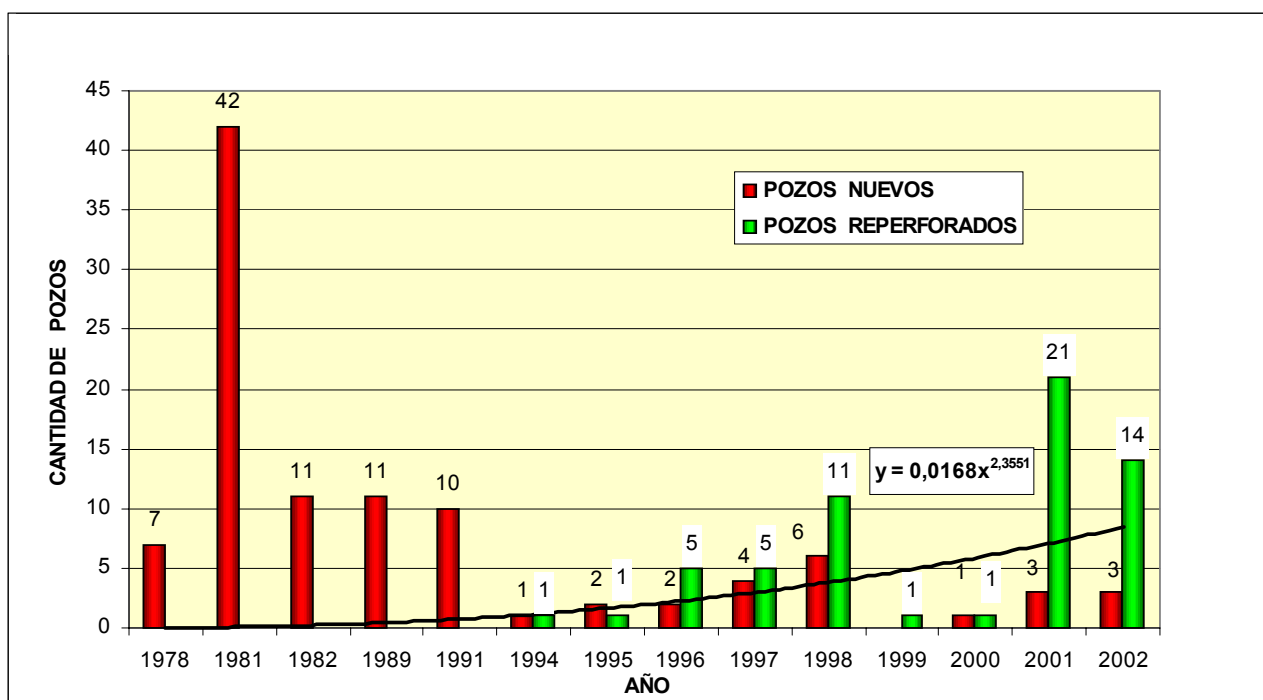


Figura 7: Perforación y reperforación de pozos dispersores

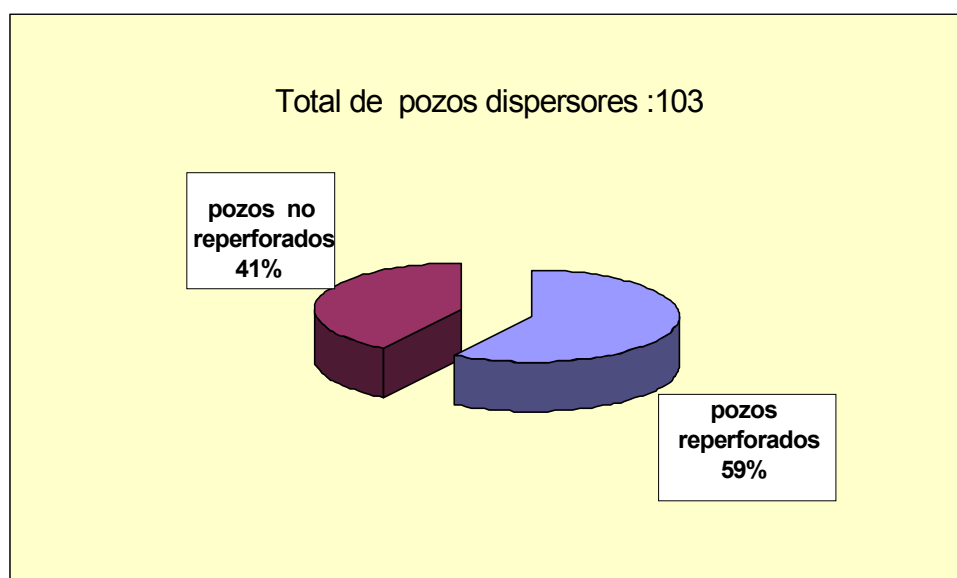


Figura 8:Pozos dispersores reperforados

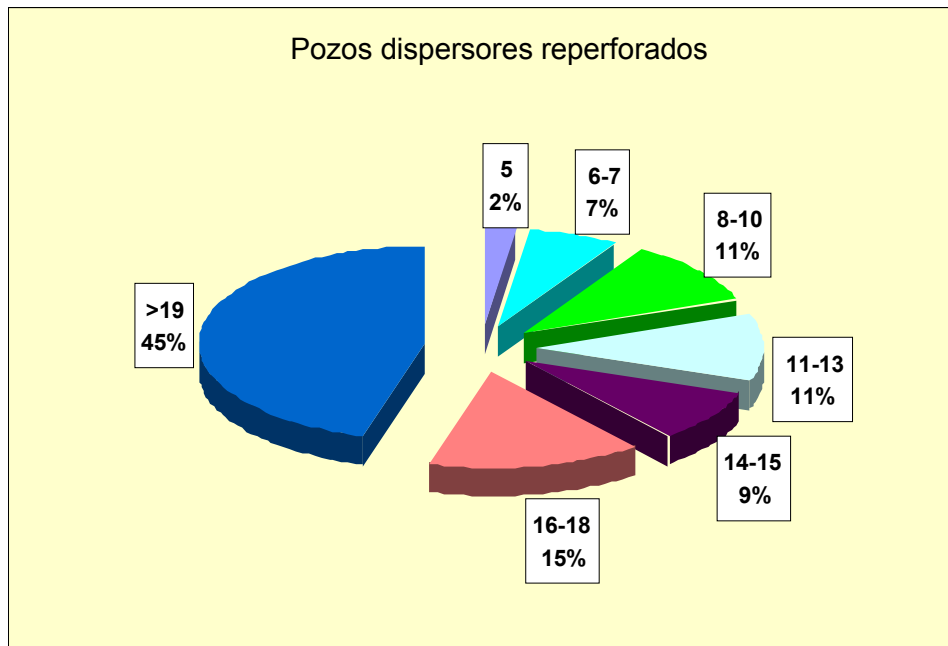


Figura 9: Distribución de la vida útil en años

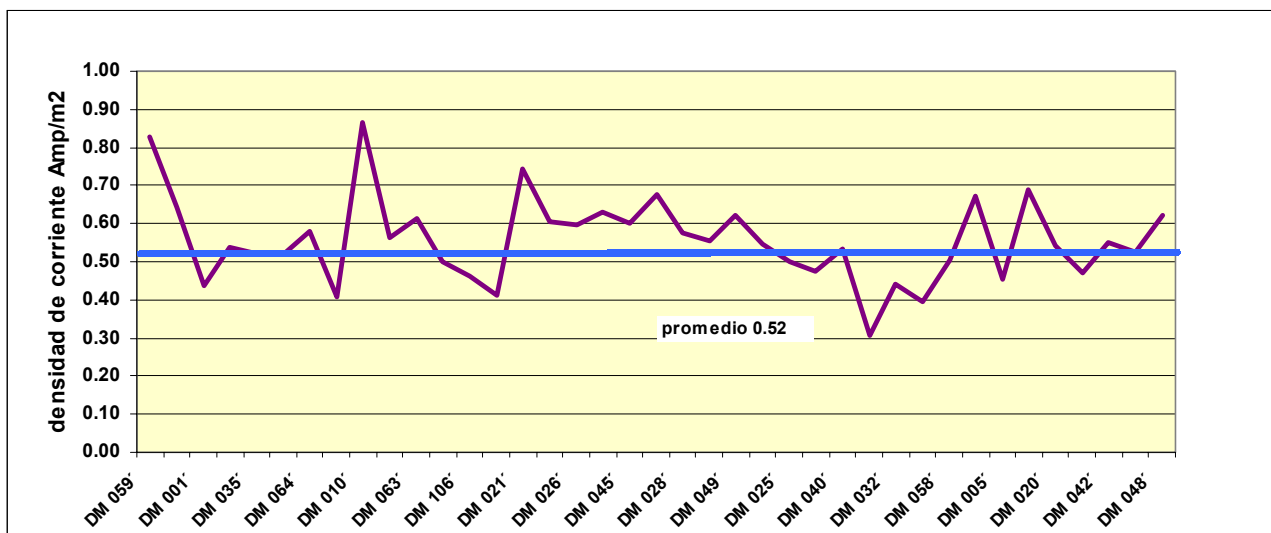


Figura 10: Densidad de corriente de pozos dispersores

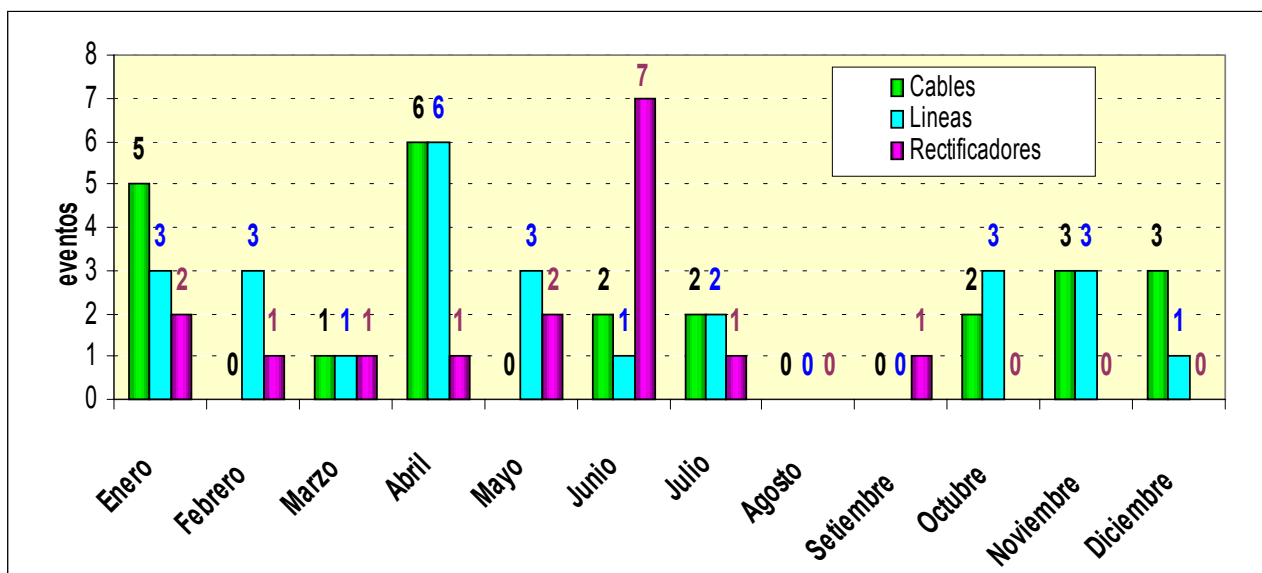


Figura 11: Interrupciones del servicio de protección catódica año 2002

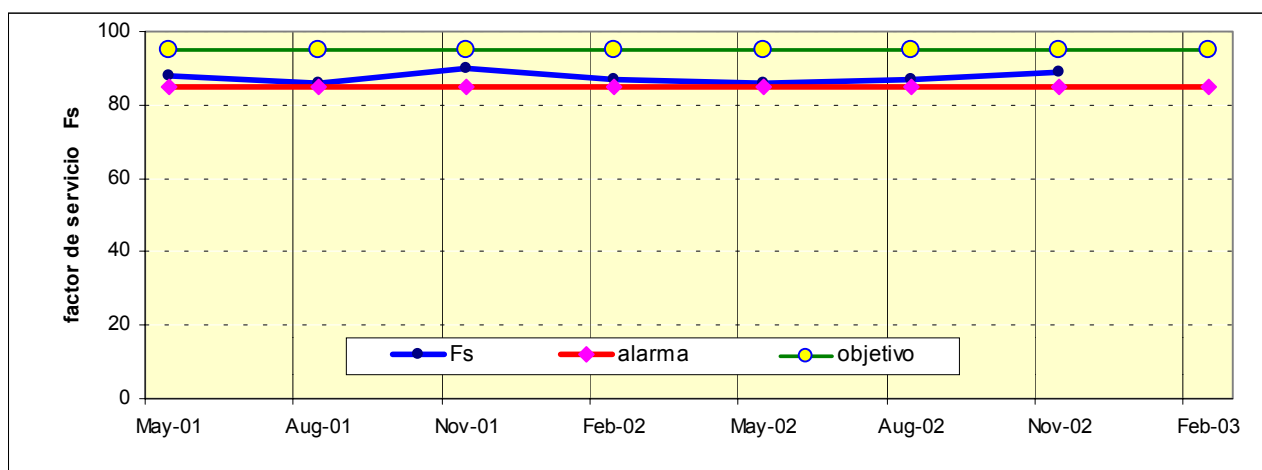


Figura 12: Tablero de control

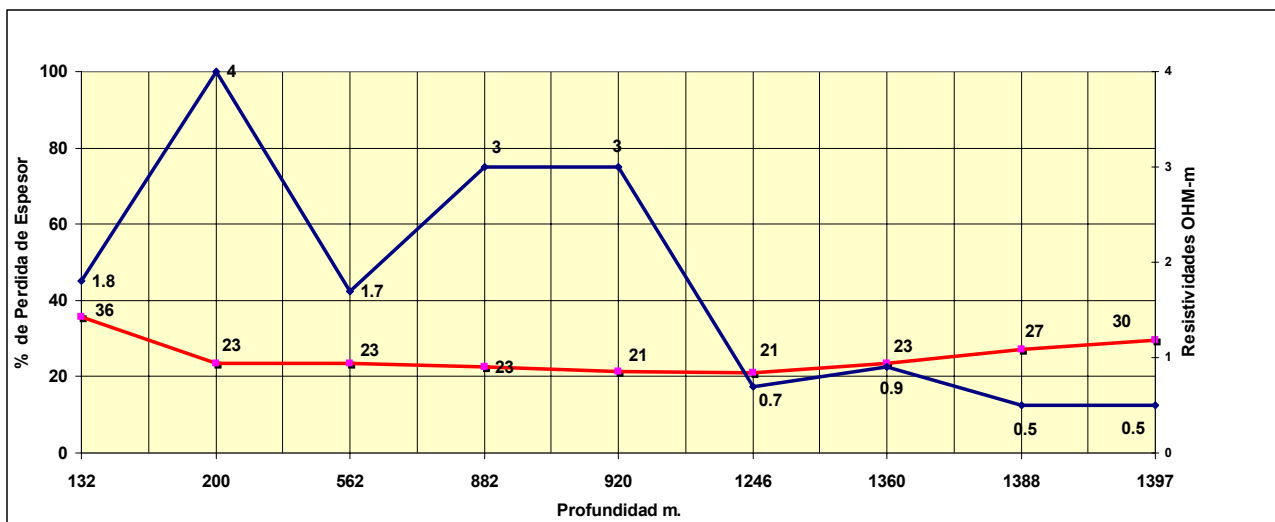


Figura 13: Pérdidas del espesor de pared con dos años de protección catódica

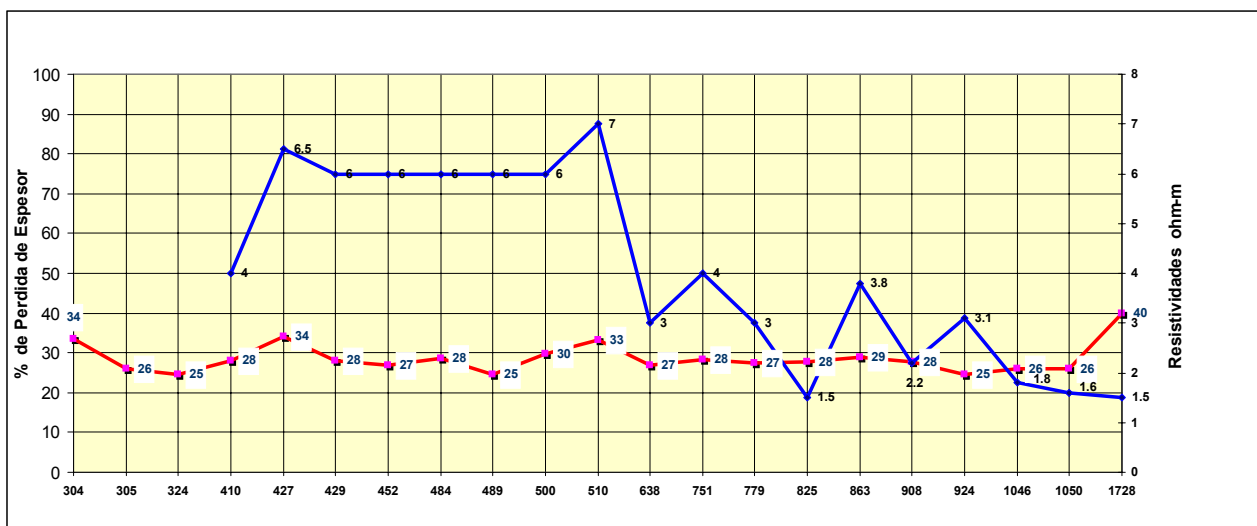


Figura 14: Pérdidas del espesor de pared con dos años de protección catódica.

