

PROTECCION CATODICA DE POZOS DE AGUA Y PETROLEO

UNA FORMA DE ELIMINAR LA CONTAMINACION DE AGUAS

AUGUSTO LUIS VIOTTI
MENDOZA

OBRASSKR -

Ingeniero en Combustibles, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Nacional de Cuyo en el año 1959. Ex becario de ASTEF.- Francia. Gerente Regional Cuyo de Gas del Estado hasta 1991. Socio Gerente Técnico de OBRASSER - Mendoza.

PROTECCION CATODICA DE POZOS DE AGUA Y PETROLEO
UNA FORMA DE ELIMINAR CONTAMINACION DE AGUAS

Augusto Luis Viotti
MENDOZA

I - INTRODUCCION

En las zonas de desarrollo agrícola que responden a las características de "Oasis", tal como las de Mendoza y San Juan, el agua tiene importancia vital para su existencia.

En general, el recurso hídrico en éstos casos responde a dos Orígenes:

- De cauces de riego, por aprovechamiento de los escurrimientos superficiales (Ríos, arroyos, etc.) que reconocen un origen natural.

- De origen subterráneo, obtenido mediante perforaciones a ciertas profundidades. Lógicamente, estos alumbramientos son artificiales. Con el desarrollo de las zonas cultivadas, sobre todo en la zona de Cuyo, estas últimas fuentes de abastecimiento abastecen casi el 40 % de la superficie irrigada.

Por otra parte, el agua suministrada desde ambos Orígenes debe reunir dos condiciones básicas: Cantidad y Calidad.

La Cantidad regula la superficie probable de ser cultivada

La Calidad tiene que ver con el rendimiento de los cultivos, llegando a ser definitoria en cuanto a la posibilidad de su existencia.

En el presente trabajo, nos ocuparemos de ver cual es la incidencia que las condiciones de mantenimiento de las perforaciones efectuadas (tanto de petróleo como de agua) tienen sobre la calidad de las aguas subterráneas que luego serán destinadas a cultivos o uso humano.

II - LA CORROSION: CONCEPTOS GENERALES

Considerando que el presente trabajo no va dirigido a especialistas en Corrosión, a continuación daremos algunos conceptos resumidos que permitan apreciar mejor el planteo del tema.

La corrosión es un proceso electroquímico, en el cual se produce una migración de electrones y simultáneamente, la creación de iones, originando la degradación de los metales en los cuales se produce el fenómeno.

Según sean las características del metal y del medio ambiente en el que se encuentra, se definirá el tipo de corrosión y la velocidad del proceso.

Para que se produzca la migración de electrones, debe existir algo que lo origine, esto es, una discontinuidad en el metal o en el medio que lo rodea, que de lugar a una diferencia de potenciales. Las principales situaciones de corrosión se detallan a continuación:

1 - Discontinuidad en el metal rodeado de un medio homogéneo. Se debe generalmente a impurezas contenidas en el mismo, distinta cristalografía o distinta textura otorgada en el tratamiento de fabricación. (Ver fig.1.)

Dentro de ésta situación se encuentran también las uniones (roscadas o soldaduras) y los contactos entre estructuras diferentes.

Especial mención requiere la situación cuando un pozo ha sido reparado mediante la técnica del "Casing Patch", pues en el caso que el material utilizado sea metalográficamente muy distinto del entubamiento original, de no ser protegido catódicamente, la corrosión no demorará en presentarse nuevamente.

2 - Discontinuidad en el medio que rodea al metal. (Pilas locales) Tal el caso de una cañería que atraviesa terrenos de distintas características. (Ver fig. 2.)

3 - Combinación de los casos expuestos anteriormente. Esta es la situación más común.

Dentro del esquema planteado, se desarrolla todo el estudio de la Corrosión y las formas de combatirla o amortiguar sus efectos.

III - EL CONTROL DE LA CORROSION

Dado que hemos definido la corrosión como un fenómeno electroquímico, su control solo puede efectuarse por medio del manejo de las variables eléctricas del sistema.

A tal efecto, se presentan las siguientes posibilidades:

1 - Aislación del metal con respecto al electrólito. En la práctica, esto se obtiene mediante revestimientos de alto poder dieléctrico (bituminosos, laminado plástico, plásticos

extruidos etc.). La resistividad de éstos materiales es del orden de los 30 K ohms/m².

2 - Controlando el flujo de electrones. Esto se obtiene en la práctica,inyectando al metal una corriente que origine un potencial eléctrico negativo suficiente. (En lo sucesivo,cada vez que se haga referencia a potencial de la estructura nos estaremos refiriendo al potencial de ésta medido con referencia a un electrodo impolarizable de Cu. - SO₄Cu.) . Para ello se dispone de dos sistemas:

a) Protección por ánodos de sacrificio (Mg, Zn .o Al.) Consiste en unir, mediante un conductor,la estructura a proteger con un ánodo de un material menos noble que el Fe. en la serie electroquímica de Nernst. Los mas utilizados son:

Material	Rendimiento (Amp./hora/kg)	Potencial (r/Cu - SO ₄ Cu)
Aluminio	2.890	910
Zinc	820	1.110
Magnesio	1.200	1.600

b) Protección por Corriente Impresa.Consiste básicamente en: Un transformador de corriente,un rectificador a corriente continua y una batería de electrodos (dispersor).El conjunto se denomina Unidad de Protección Catódica por Corriente Impresa (U.P.C.C.I.) .

A partir de una alimentación de c.a.,primero se baja su tensión (en forma regulable).Esta luego se rectifica (Placas de Se. o Diodos de Si.).

La fase positiva se conecta a los electrodos,que son elementos de acero, Fe.-Si., o grafito.

La fase negativa se conecta al elemento a proteger.

Con el transformador variable se regula la tensión de salida hasta lograr inyectar a la estructura la cantidad de corriente necesaria para llevar su potencial al valor (negativo) deseado.

Estas U.P.C.C.I. son las que se utilizan en forma generalizada para la protección de casing de perforaciones de agua o petróleo.

Para su dimensionamiento, se debe tener en cuenta: Cantidad de pozos a proteger por cada una, Vida útil deseada para el equipo y degradación de los electrodos dispersores. En cada caso debe efectuarse un estudio económico.

En el empleo de las U.P.C.C.I. adquiere importancia el concepto de Polarización de la estructura a proteger.

Cuando se inyecta corriente a una estructura y se mide el potencial con un electrodo remoto, la circulación de la misma, debido a la resistencia del circuito, origina una caída de potencial, que se designa como efecto I. R. Al cesar la inyección, queda un potencial residual, que se designa Polarización eléctrica. Este es el real potencial de protección, es el potencial (Off).
-Ver fig 3-

Cuando se efectúa un ensayo de protección, el envío de corriente se efectúa en forma pulsante, (On - Off) con una cadencia de aprox. 15" de duración.

La lectura (On) se realiza una vez estabilizado el valor en el instrumento. La lectura (Off) se realiza en forma inmediata luego del corte. Mas adelante veremos la aplicación de lo expresado anteriormente. Ver fig.3

Los criterios para considerar una estructura Catódicamente protegida más comunmente utilizados son:

a) Que el potencial mas positivo en toda la estructura esté por debajo de los -850 mV.

b) Que la diferencia entre el Potencial Natural $V(0)$ y el potencial con envío $V(On)$ sea mayor que 300 mV.

La selección del criterio a aplicar depende de una serie de factores que hacen a las características de la estructura y a las condiciones del medio ambiente en que se encuentra la misma

IV - LA CORROSION EN LOS CASING

En el caso de los entubamientos de pozos de petróleo y agua, se presenta la situación indicada en el punto 3 - citado anteriormente. En efecto, tenemos:

- Cañería desnuda en contacto con electrólito (el terreno)
- Uniones roscadas y soldadas
- La cañería atraviesa terrenos de distinta composición y resistividades.

En éstas condiciones, es inevitable el proceso de corrosión. Su intensidad dependerá de la forma en que se conjuguen los factores que hemos indicado anteriormente

V - IMPORTANCIA DE LA CORROSION EN LOS CASING

Los distintos terrenos que atraviesa una perforación tienen a su vez distinta resistividad (que se mide en ohms-cm.). Esta característica les otorga mayor o menor agresividad desde el punto de vista de la corrosión.

Los terrenos se clasifican por su resistividad según la siguiente tabla:

0 - 2000 Ohms - cm.	- Muy agresivo
2000 - 5000 "	" - Agresivo
5000 - 8000 "	" - Agresiv. Moderada
mas de 8000 "	" - Agresiv. Desprec.

La resistividad está dada por las características propias del terreno, así como por su grado de humedad relativa. De allí que el mismo tipo de terreno puede tener distinta resistividad según su ubicación con respecto a las napas acuíferas.

Es dable pues deducir que en los límites de los acuíferos se produzcan los mas bruscos cambios de resistividades, generando en consecuencia pilas locales de variada importancia. Allí está presente la Corrosión.

Ubicada la corrosión en los acuíferos, cuando ésta llega a eliminar el metal en una zona, se origina la perforación de la pared del entubamiento. De la magnitud del daño y del juego de presiones hidráulicas de las napas acuíferas, depende la importancia de la contaminación que entre ellas se produzca.

Aquí comienza realmente el problema. Vamos a ejemplificar con un pozo de agua, pero lo que se diga al respecto es válido para los pozos de petróleo, pues es en los niveles superiores donde se encuentran la mayoría de los estratos acuíferos.

En la figura n° 4 se representa el corte de un pozo de agua típico en la zona de Cuyo. Se puede apreciar que mientras más cerca estamos de la superficie, mayor es la agresividad del medio, ya que la potencia de la pila local está en relación directa con el aumento de la conductividad del agua y la consiguiente disminución de la resistividad del terreno. (Fig. 5)

De ésta forma, se va produciendo un ataque corrosivo al casing desde arriba hacia abajo. Producida una perforación en un nivel superior, la invasión de agua hacia los niveles inferiores se va encadenando, y gradualmente aumenta el grado de contaminación de los respectivos acuíferos.

Este proceso no es un problema individual de cada pozo, sino que por el contrario, al contaminarse los acuíferos, va incrementando su magnitud en toda un área, la cual paulatinamente se va ampliando, potenciado el problema por la propagación de las condiciones agresivas del agua.

Especial consideración merece en la zona Cuyo su calificación de "Zona Sísmica". Al respecto se destaca que los yacimientos de petróleo de la zona Mendoza Norte, se encuentran ubicados dentro de la zona IX (la de máxima incidencia) en la Regionalización sísmica efectuada por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES).

Las ondas sísmicas tienen básicamente dos componentes: Horizontal y Vertical. La primera es la que mayores problemas acarrea a los pozos, ya que somete a los mismos a flexiones, esfuerzos de corte y tensiones residuales.

Si, como consecuencia de ataques corrosivos, la cañería ha perdido parte de su capacidad inicial de soportar esfuerzos, la posibilidad de rotura aumenta considerablemente.

Lo expuesto ha quedado corroborado por la experiencia, ya que luego de un sismo de cierta intensidad, se han observado daños en pozos, que incluso han llegado a su inutilización.

Merece párrafo aparte la importancia que desde el punto de vista de la contaminación de acuíferos reviste el abandono de pozos.

Los pozos petrolíferos se abandonan, bien por agotamiento de reservas, o bien por accidentes a la estructura, cuya reparación resultare antieconómica.

Los pozos de agua, en general, se abandonan por falta de rendimiento de los acuíferos o por daño del pozo (colapsado, contaminación etc.).

Aquí se presenta una etapa fundamental en el problema de contaminación de acuíferos. Es muy común que ésta etapa de abandono se inicie sin tomar los recaudos mínimos para evitar que el proceso de corrosión - contaminación descrito anteriormente continúe en forma indefinida.

Es por lo tanto de la mayor importancia para la preservación del recurso hídrico adoptar las medidas conducentes específicas. Uno de los recursos más utilizados es el cementado de los primeros tramos del pozo, que comprenden los estratos a proteger.

VI - PROYECTO DE UN SISTEMA DE PROTECCION CATODICA PARA CASING.

A la luz de lo expuesto anteriormente, surge que resultaría ideal incluir la Protección Catódica de los casing al terminar cada perforación, previendo la capacidad de los equipos a instalar en función del futuro desarrollo de la zona.

En el caso de yacimientos ya desarrollados, que será el caso que vamos a ejemplificar, el historial de daños fijará la prioridad de las zonas a tratar.

1 - Estudio previo

a) Análisis de antecedentes

El estudio del historial ya mencionado nos permitirá ir acotando las zonas de riesgo corrosivo.

En general, para el área Cuyo, podemos decir que la zona crítica está ubicada, desde la superficie hasta unos 300 - 500m de profundidad. De allí en adelante, los registros de daños indican que su frecuencia disminuye notablemente.

2 - Cálculo del sistema de protección

Básicamente, el cálculo consiste en determinar la cantidad de corriente necesaria de inyectar a la estructura para que ésta adquiera un potencial menor que - 850 mV. hasta la profundidad que en cada caso se determine.

Para encarar el cálculo del sistema de Protección Catódica de un entubamiento se puede acudir a dos metodologías:

a) Por medición directa. Consiste en bajar al pozo una herramienta apropiada, provista de contactos eléctricos que vaya registrando la diferencia de potenciales existentes a lo largo de toda la corrida. (micropotenciales)

En una primera determinación, se miden los potenciales espontáneos (o naturales). De ésta forma se ubican las zonas que se hallan sujetas a corrosión.

Posteriormente y en sucesivos ensayos, se inyecta corriente con intensidades variables durante las corridas de la herramienta. La respuesta eléctrica del sistema se refleja en el respectivo perfil. De su estudio surge la situación de protección de la estructura.

Las características de este método son:

- Mayor precisión en las determinaciones.
- Alto costo directo del ensayo.
- Apreciable tiempo de interrupción de la producción
- Indica la situación al momento del ensayo. No resulta posible detectar corrientes vagabundas o interferencias esporádicas.

b) **Por ensayo superficial y cálculos posteriores.** Consiste en efectuar envíos de corriente desde la boca del pozo, midiendo las variaciones de potencial que la misma origina en la estructura.

Con los valores obtenidos, mediante un proceso matemático, se calculan los valores de potencial a lo largo de todo el entubamiento.

Las características de éste método son:

- La precisión no es tan grande como en el método anterior. No obstante, las diferencias obtenidas, del orden del 4 % no le quitan validez a los resultados logrados.
- El costo directo del ensayo es mínimo.
- No requiere paralizar la producción.
- Con instrumental adecuado, permite el registro de los valores durante largos períodos, pudiendo de ésta forma detectarse anomalías e interferencias esporádicas.

Dadas las características enumeradas de éste método, se detallará en capítulo aparte su implementación.

VII - CALCULO DE UN SISTEMA DE PROTECCION CATODICA DE CASING.

Como se indicó en el punto III, el verdadero potencial de protección es el de polarización (Off). Por lo tanto vamos a efectuar los cálculos teniendo en cuenta ésta situación.

Como se explicó anteriormente, al inyectar corriente en un casing, se genera el un potencial determinado.

El equipo necesario es muy simple:

- Una fuente de corriente continua con tensión e intensidad suficiente, estable y duradera.
- Un dispersor remoto de capacidad adecuada.
- Conexiones de pozo al resto de la instalación de producción eléctricamente aislada
- Instrumental suficiente.

El potencial generado así en boca de pozo, va variando según aumenta la profundidad, en función de las pérdidas de corriente que van sucediéndose a lo largo de la entubación.

Esta variación está dada por la siguiente fórmula:

$$Kx = K_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad \text{donde.}$$

Kx . es el cambio de potencial caño - suelo a una distancia x del punto de inyección de corriente.

K_0 . es el cambio de potencial caño - suelo en el punto de inyección de corriente.

e . es la base del logaritmo natural = 2,718

α . es un valor denominado Constante de Atenuación que es una función de las condiciones particulares de la estructura y su entorno, que comprende:

- La resistencia longitudinal de la cañería.
- La intensidad de corriente circulante.
- La resistencia a tierra remota de la línea, que está relacionada con la expresión E_0/I_0 .

El procesamiento de ésta fórmula, para los valores $V_x(On)$ y $V_x(Off)$ en un caso ejemplificativo, nos da la curva de la fig. 6

A continuación se indican los datos principales tomados para el cálculo.

Se adjunta modelo de planilla con el relevamiento completo de los datos necesarios para el Cálculo y Proyecto definitivo.

	Primer tramo	Segundo tramo
Diámetro (cm.)	27,5	14
Longitud (m)	536,5	2.076
Resistencia (ohm/m)	$34,80 \times 10^{-6}$	$73,06 \times 10^{-6}$

Los datos del envío fueron:

Potencial Estático	$V_0 (0)$	= -0,720 V
Potencial Con Envío	$V_0 (on)$	= -1,076 V
Potencial Sin Envío	$V_0 (off)$	= -0,928 V
Intensidad de corriente	I_0	= 10,5 A.

Del estudio de los resultados obtenidos y graficados se deduce, que con la corriente inyectada, el casing está protegido Catódicamente hasta los 1.600 metros.

Efectuando el mismo cálculo para distintos valores de Envío de Corriente, se determinará cual es la Intensidad de Corriente óptima para proteger la estructura hasta la profundidad deseada.

VIII - EL DISPERSOR

Este elemento hace al rendimiento y duración de la U.P.C.C.I. siendo por consiguiente de la máxima importancia en el cálculo respectivo.

Generalmente se utilizan dispersores de profundidad, dado que en los niveles superiores las resistividades suelen ser altas, lo que no favorece su funcionamiento.

Siendo el elemento de sacrificio, su duración condiciona la duración de todo el conjunto. Cabe pues efectuar un análisis económico en cuanto hace a la inversión inicial (Peso del material de electrodos a instalar) versus vida útil.

Otro factor de la mayor importancia a tener en cuenta es la ubicación de los dispersores.

Resulta muy fácil que se produzcan efectos de interferencia entre los dispersores y otros pozos cercanos, muchas veces con consecuencias graves para la integridad de éstos últimos.

En la figura 7 se ejemplifican algunos casos comunes de interferencias.

Asimismo, debe considerarse la posibilidad de interferencias con cañerías de conducción enterradas dentro de la zona de influencia del dispersor.

En todos los casos resulta muy difícil prever estos casos de interferencia, debiéndose proceder a efectuar mediciones eléctricas sistemáticas en todo el entorno comprometido, y efectuar las correcciones que resulten oportunas.

IX - INCIDENCIA ECONOMICA DE LA PROTECCION CATODICA

1 - Relación de Inversiones (Perforaciones nuevas)

a) Costo de un pozo tipo aprox. \$ 700.000

b) Costo de Protección Catódica por pozo \$ 10.000
(Una U.P.C.C.I. para tres pozos)

Porcentaje de incidencia de la Protección Catódica:

1.4%

2 - Relación costo de reparación de pozos (Casing Patch) vs. Costo de Protección Catódica.

Se toma como promedio una reparación cada 8 años, y una vida útil de la U.P.C.C.I. de 15 años.

a) Costo de dos reparaciones (180 hs.equipo) \$ 36.000
(Sin computar pérdida de producción por paro)

b) Costo de Protección Catódica (iden 1 - b) \$ 10.000

La comparación de los valores obtenidos anteriormente,exime de todo comentario con respecto a la conveniencia de instalar Protección Catódica en los yacimientos de Petróleo.

En realidad,corresponde para cada caso en particular efectuar el análisis económico detallado,pero las cifras indicadas anteriormente nos permiten aseverar "a priori" la conveniencia económica de la inversión en Protección Catódica.

X - CONCLUSIONES

La influencia del daño en los pozos de petróleo y agua origina un grave problema de contaminación de los estratos acuíferos de aprovechamiento humano y agrícola.

Existe una metodología técnica denominada Protección Catódica que permite eliminar, o por lo menos aminorar la frecuencia de la rotura de los entubamientos, que origina el problema comentado.

El costo de implantación de ésta protección es mínimo frente a la inversión de ejecución de un pozo de petróleo.

En las Jornadas Nacionales de Agua Subterránea,realizadas en Mendoza,en Setiembre de 1.991 se había propuesto legislar sobre la obligatoriedad de utilización de ésta técnica para los pozos,cualquiera fuese su destino.

Por lo tanto se sugiere informar a los niveles directivos de las Empresas Petroleras involucradas,la importancia del tema tratado en la presente.

MENDOZA,Julio de 1993

Fig. 1

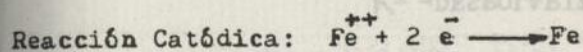
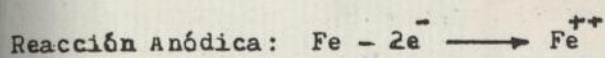
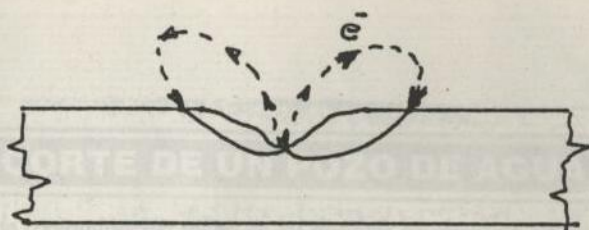
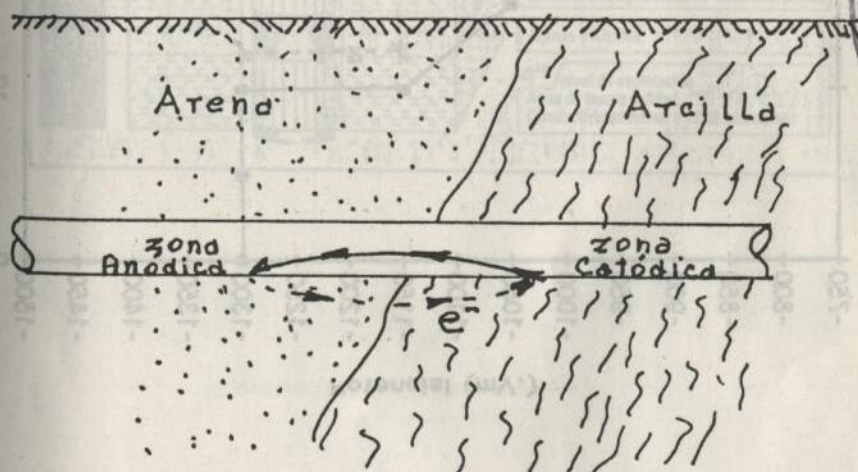


Fig. 2



CURVA DE DESPOLARIZACION TIPICA
Corrección de IR (Fig 3.)

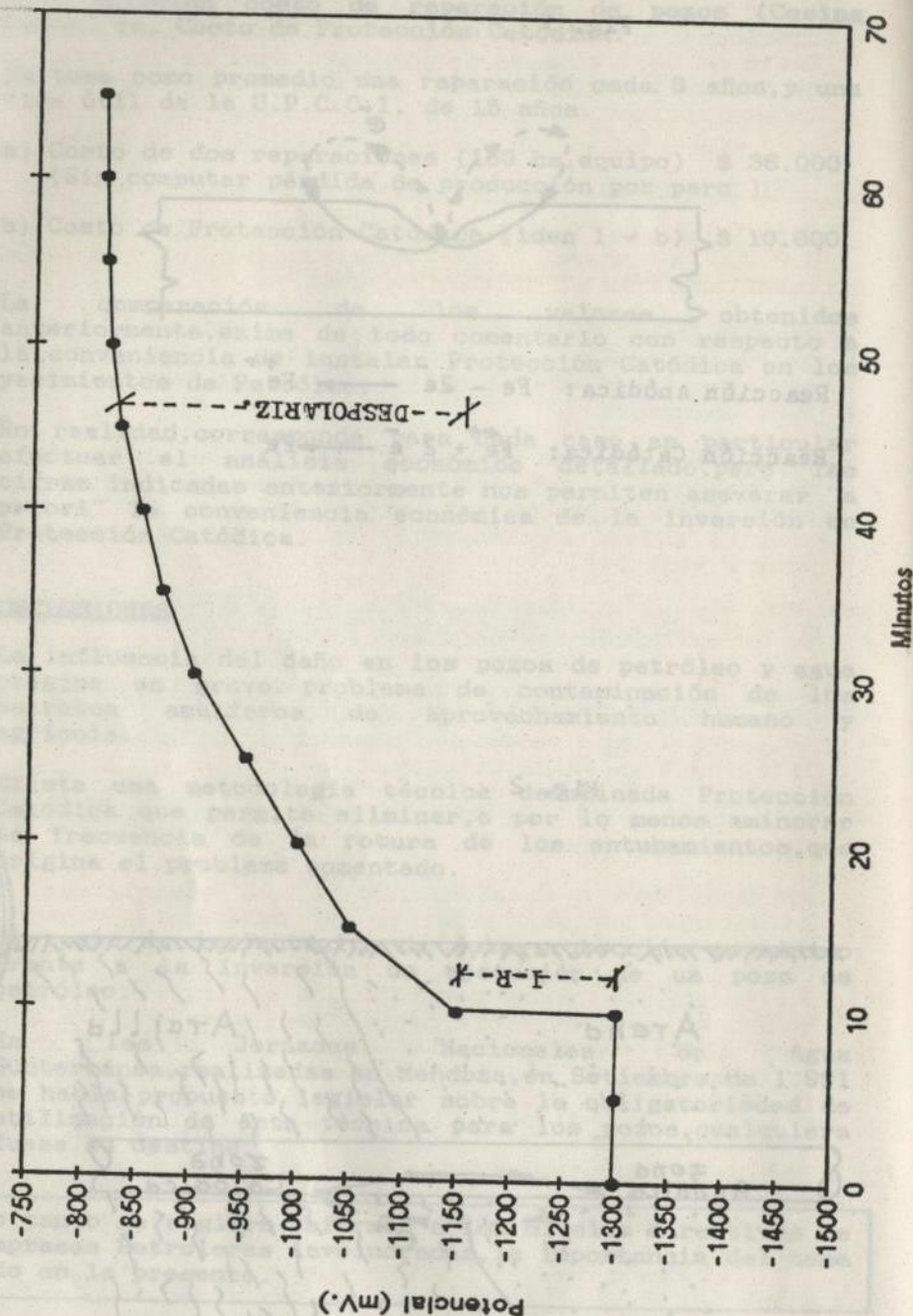
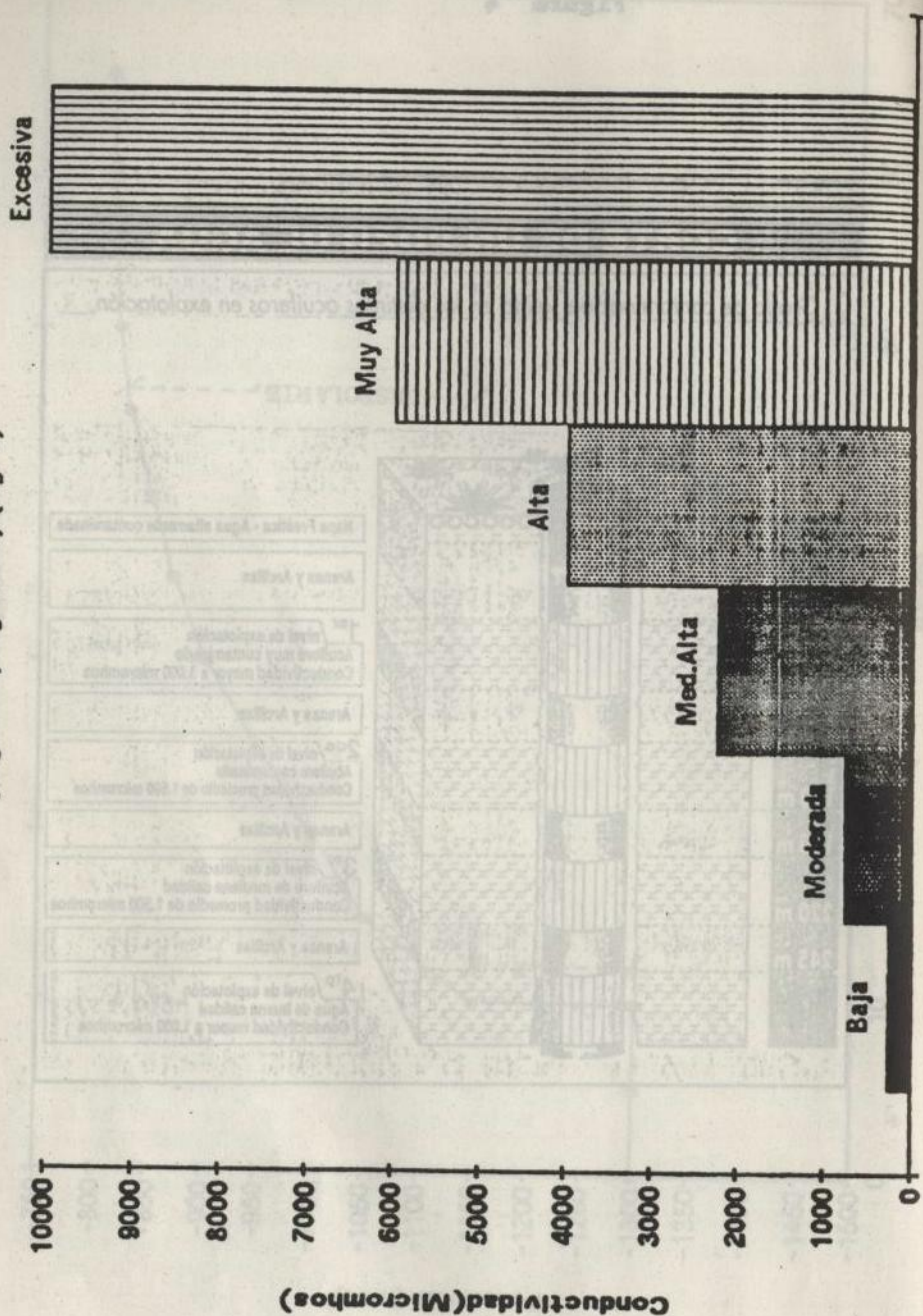


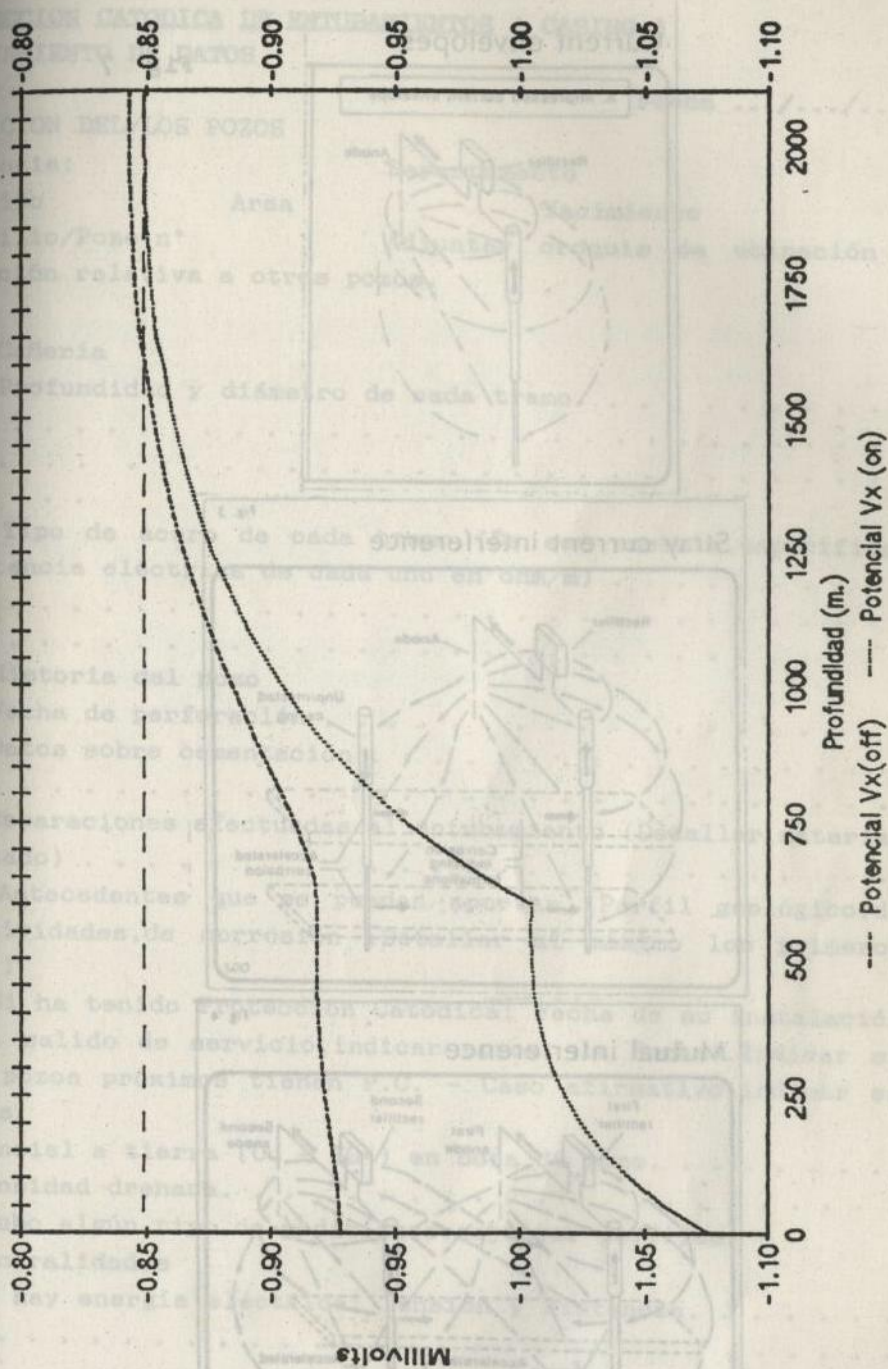
Figura 4



CLASIFICACION DE LAS AGUAS (Según su peligrosidad) (Fig. 5)

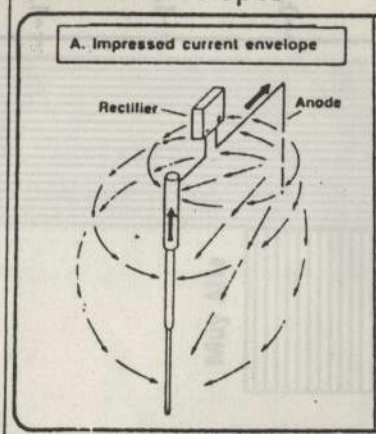


CALCULO CURVAS DE ATENUACION
 Casing pozo de petróleo (Fig.6)



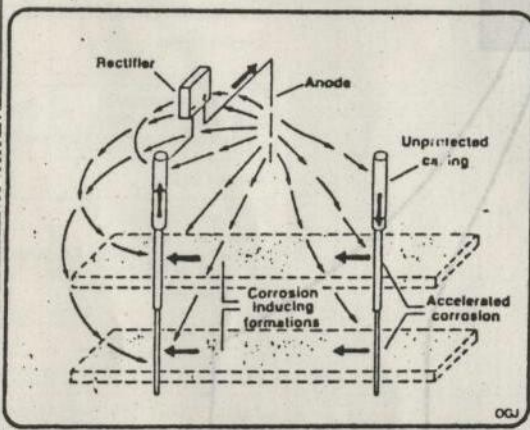
Current envelopes

Fig 7



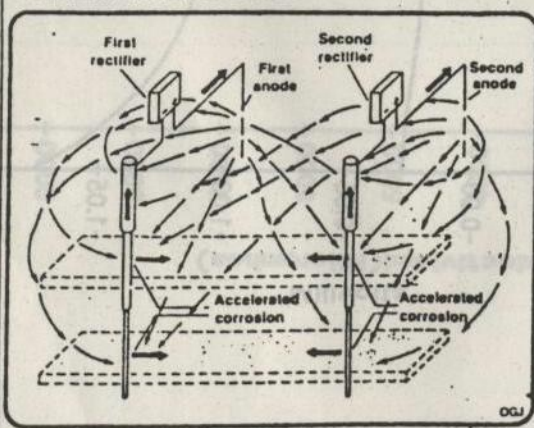
Stray current interference

Fig. 3



Mutual interference

Fig 4



(De Pipe Line Industry)