

2  
Dej.



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

TEORIA Y PRACTICA DE LA PROTECCION CATODICA  
EN ESTRUCTURAS ENTERRADAS

T E S I S



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA



JUAN MANUEL CANEPA BERTOLINI

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

1987



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

INTRODUCCION		01
<b>PRIMERA PARTE</b>		
<b>LA PROTECCION CATODICA .ASPECTOS FUNDAMENTALES</b>		
CAPITULO 1	DEFINICION	03
	- Como funciona la protección catódica	05
1.1.-	Anodos Galvánicos.	09
CAPITULO 2	SISTEMAS DE CORRIENTE IMPRESA	15
CAPITULO 3	CRITERIO PARA PROTECCION CATODICA	19
	- Potencial al ambiente	
3.1.-	Medición de Potencial Estructura-Suelo	25
	- Electrodo de referencia	
	- Muestra de ensayo	27
	- Cambio de potencial	
	- Reconocimiento de la protección catódica.	29
CAPITULO 4	ENSAYOS DE REQUERIMIENTOS DE CORRIENTE	30
4.1.-	Ensayo para una línea revestida	
4.2.-	Ensayo para una estructura desnuda	33
	- Características de la curva de polarización	37
CAPITULO 5	ENSAYO DE RESISTENCIA DE LOS RECUBRIMIENTOS	41
5.1.-	Resistividad del medio	44
	- Condiciones locales que afectan el diseño	51
CAPITULO 6	REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS.	53
CAPITULO 7	FACTORES QUE AFECTAN EL DISEÑO DE LA PROTECCION CATODICA.-	60
	- Requerimiento total de corriente	
	- Variaciones en el ambiente.	
	- Recubrimientos protectores.	62

7.1.- Escudo Eléctrico.	63
- Consideraciones económicas	
- Metal que debe protegerse	64
- Requerimiento de duración	
- Posibilidades de mantenimiento	65
7.2.- Efectos de las Corrientes Vagabundas.	
- Temperatura	67
CAPITULO 8      ANODOS Y RECTIFICADORES.	71
8.1.- Materiales de Anodos Galvánicos	
8.2.- Anodos de Corriente Impresa	73
8.3.- Rectificadores como Fuentes de Corriente	74
- Otras fuentes de corriente	77
- Alambre y cable	78
- Relleno del ánodo	79
- Miscélanea	81
8.4.- Diseño de Lechos de Tierra	
- Desarrollo de curvas de diseño	85
- Determinación de la resistencia necesaria	88
CAPITULO 9      REQUERIMIENTOS ESPECIALES PARA APLICACIONES ESPECIFICAS.	90
9.1.- Aplicaciones en líneas de tubería	
- Interiores de caños	91
9.2.- Estructuras fijas en agua de mar	92
9.3.- Construcciones navales	94
9.4.- Tanques	95
9.5.- Sistemas subterráneos de plantas industriales.	
9.6.- Pilotes y entubación de pozos.	96
CAPITULO 10     OTROS USOS DE LA PROTECCION CATODICA.	100
10.1.-Limitación de daños por cavitación	
10.2.-Reducción de los daños por corrosión de grietas	
10.3.-Protección catódica de latas	101

10.4.-Calefones domésticos	101
-Otras aplicaciones.	102
10.5.-Protección anódica.	

## SEGUNDA PARTE

### DESARROLLO Y PROCEDIMIENTOS PRACTICOS DE CAMPO EN LA PROTECCION CATODICA.

CAPITULO 11	INSTRUCTIVO DE PROCEDIMIENTOS DE PROTECCION CATODICA.	106
11.1.-Inspección		
11.2.-Cadenamiento		109
11.3.-Amojonamiento y registro.		110
11.4.-Seccionamientos eléctricos		111
11.5.-Investigación de fuentes de energía eléctrica		115
11.6.-Medición de resistividades		116
11.7.-Mediciones de potencial		119
11.8.-Pruebas de requerimiento de corriente		120
11.9.-Diseño con ánodos de sacrificio		123
CAPITULO 12	DESARROLLOS PRACTICOS DE REQUERIMIENTOS DE CORRIENTE Y DISEÑOS PARA RECTIFICADORES.	126
12.1.-Obtención de datos de diseño. Prueba No. 1.		127
12.2.-Prueba No.2.		136
12.3.-Prueba de requerimiento de corriente No. 3		141
12.4.-Prueba No. 4		142
12.5.-Diseño para un rectificador de corriente		145
12.6.-Ejemplos prácticos de diseño en rectificadores		150
12.7.-Plano de localización No. 1.		154

## TERCERA PARTE

### PROTECCION CATODICA DE LINEAS DE TUBERIAS

CAPITULO 13	TRABAJOS DE CAMPO Y DISEÑOS	155
13.1.-	Instrucciones Generales	156
13.2.-	Protección catódica de tuberías pobremente recubiertas.	
	- Historia	
	- Trabajos de campo	
	- Diseño	161
13.3.-	Protección catódica de tuberías bien recubiertas.	175
	- Juntas de aislamiento	176
	- Amojonamiento	
	- Pruebas de requerimiento de corriente	177
	- Mediciones de resistividad	178
	- Diseño	179

## CUARTA PARTE

### APENDICES

CAPITULO 14	CONSIDERACIONES PRACTICAS DE PROTECCION CATODICA	185
CAPITULO 15	GRAFICAS TUBO-SUELO	188
CAPITULO 16	PROTECCION DE ZONAS ACTIVAS	196
CAPITULO 17	DESCRIPCION DE CONCEPTOS Y ANALISIS DE PRECIOS.	201
17.1.-	Ejemplo de descripción para instalaciones a base de ánodos de magnesio.	
17.2.-	Análisis de precios para un poste de registro	203

17.3.-Descripción de conceptos para instalaciones a base de Rectificador de corriente.	204
17.4.-Descripción de los trabajos para una prueba de corriente en ductos.	205
<b>CAPITULO 18 FUNDAMENTOS SOBRE RECTIFICADORES.</b>	<b>207</b>
18.1.-Manual de Instrucciones de un rectificador.	216
<b>CAPITULO 19 ALGUNOS ASPECTOS PRACTICOS</b>	<b>221</b>
19.1.-Equipo auxiliar para localizar tuberías	
19.2.-Soldadura tipo termita	
19.3.-Conectores de resorte	227
19.4.-Banderolas	229
19.5.-Tanque para soldar en agua	
19.6.-Habilitación de Anodos	231

#### QUINTA PARTE

#### TERMINOS EMPLEADOS EN INGENIERIA DE CORROSION

Descripción.-	232
Conclusiones.-	246
Bibliografía.-	249

## INTRODUCCION

Los problemas que plantea la corrosión en la industria son de tal magnitud, que hacen inevitable la búsqueda de sistemas eficaces para luchar -- contra ella.

En los pocos países que disponen de datos fiables sobre los costos que representa la corrosión, existe evidencia de que entre un 2 y un 4 % del Producto Nacional Bruto se emplea directa o indirectamente, en mitigar los efectos de la corrosión. Ello habla por sí mismo de la magnitud del problema.

En la Industria Petrolera Mundial, la corrosión es quizás la causa -- principal de las fallas que se presentan, con los consiguientes daños. La -- mayoría de veces irreversibles.

Unida a los Recubrimientos, la Protección Catódica muy probablemente -- es el método de lucha contra la Corrosión más empleado en la actualidad, especialmente para aquellas estructuras que están en contacto con un medio -- ambiente agresivo; pantano, suelos, agua de mar, etc.

En la Industria Petrolera en particular, la gran cantidad de estructuras y líneas de tubería que se encuentran enterradas o bajo el agua, hace de la protección catódica el complemento ideal para la salvaguarda de las mismas, junto a un buen recubrimiento y en ocasiones como único medio de protección.

Uno de los principales problemas que plantea la aplicación de la protección catódica, radica en la falta de personal preparado, específicamente en cuanto al desarrollo e implantación de los sistemas. Esta carencia puede ser debida a diferentes factores, pudiendo ser algunos de ellos la falta de

textos o monografías en español ( aunque existen excelentes obras en otros idiomas), así como que en los actuales planes de estudio de las carreras de Ingeniería, la corrosión no aparece como materia de enseñanza o queda restringida a unas pocas horas de clase en cualquier asignatura terminal, o en el mejor de los casos se trata de una asignatura optativa.

En esta tesis se recoge la experiencia práctica de realizar el diseño e instalación de sistemas de protección catódica de estructuras enterradas, así como el mínimo de teoría indispensable para abordar problemas semejantes.

Este trabajo fue realizado en el sureste del país en el estado de tabasco, específicamente en el Distrito Petrolero de Comalcalco.

De esta forma se pretende contribuir, aunque sea mínimamente, a la difusión de una serie de conocimientos y normas de buena práctica, que se espera ayude a los ingenieros que se introducen en esta área de la lucha contra la corrosión: la Protección Catódica.

PARTE 1

LA PROTECCION CATODICA  
Aspectos Fundamentales.

**CAPITULO 1****PROTECCION CATODICA****Definición.**

La técnica para reducir la corrosión de una superficie metálica por el paso de una corriente eléctrica, suficiente para hacer que la disolución -- anódica se vuelva insignificante, se llama protección catódica.

Debido a que la corrosión es de naturaleza electroquímica, la Protección Catódica es un método electroquímico, para mitigar y eventualmente prevenir la corrosión.

La corrosión tiene lugar en las áreas anódicas del metal, donde la corriente deja la estructura y entra al electrolito. En el área catódica, donde el hidrógeno se deposita, la corrosión, no tiene lugar. Si podemos hacer que toda la estructura se comporte catódicamente, ésta se encontrará libre, en principio, de la corrosión, para lo cual necesitamos: separar ánodos, localizarlos y arreglarlos de manera que una corriente de los ánodos fluya a todas las partes de la estructura y la haga catódica.

La protección catódica consiste en aplicar una contracorriente, lo suficientemente grande, como para neutralizar las corrientes responsables de la corrosión. Esto se efectúa, bajando el potencial del metal que se corroe al potencial reversible de la reacción anódica, con lo cual, la disolución anódica se detiene. En la práctica hay dos criterios para esta condición:

- El potencial al cual se baja el metal, es más bajo que el potencial de electrodo reversible de la reacción en el ánodo.

- También es posible, ver la diferencia de potencial máximo que existe

entre los potenciales del ánodo y el cátodo a circuito abierto. La protección se alcanza causando un cambio de potencial del metal, relativo al límite de la celda de corrosión; este cambio de potencial, será mayor, que la diferencia de potencial entre ánodo y cátodo.

La Protección Catódica es de naturaleza electroquímica, por lo cual se usa para el control de la corrosión electroquímica. Para que exista corrosión de este tipo, es necesaria la presencia de: ánodo, cátodo, electrolito y conexión eléctrica entre ánodo y cátodo (circuito de retorno). La base de su funcionamiento es: un flujo de corriente del ánodo al cátodo por medio de la capacidad conductora del electrolito y este flujo varía de acuerdo a los tamaños del ánodo y cátodo, además de, la resistencia eléctrica del electrolito.

Las zonas anódicas y catódicas, existen en cualquier metal o aleación, la cual puede encontrarse en forma de: tubería, estructura, tanque, etc.

Al suministrar un flujo de corriente externo a la estructura, todas las zonas anódicas se transforman en cátodos, protegiéndose de esta manera, mientras que otra estructura exterior funciona como ánodo, el cual suministra la corriente necesaria para la protección.

Dos metales pueden acoplarse para producir corrosión galvánica. Si lo que interesa es disminuir la corrosión del metal activo, es posible aprovechar el hecho de que el metal que actúa como cátodo, queda protegido, mientras que el ánodo se corroe. Acoplando deliberadamente dos metales diferentes, podemos evitar o al menos disminuir, la corrosión del menos activo (cátodo).

Como Funciona la Protección Catódica.-

La aplicación de una corriente eléctrica continua a una estructura metálica que se corroe (usualmente el acero), puede transformarla en un cátodo

en toda su extensión. La corriente eléctrica continua, se encuentra asociada en el proceso de la corrosión de una estructura metálica, lo cual se ilustra en la figura No. 1.

Como se muestra, existe una corriente continua fluyendo del área anódica "A" a través del terreno "D" (electrolito) hacia el área catódica "C", completando el circuito eléctrico el mismo caño "B" (circuito de retorno). Es obvio que el fenómeno ocurre a nivel microscópico, por lo que el dibujo solo sirve para fines prácticos.

Para un voltaje impulsor dado (potencial galvánico entre ánodo y cátodo) el flujo o cantidad de corriente, se encuentra limitado por factores tales como: la resistividad del medio ambiente y el grado de polarización en las áreas anódicas y catódicas.

La manera básica para conseguir Protección Catódica está ilustrada por la figura No. 2, la cual muestra como la sección que originalmente se corroía en la figura No. 1, ha sido convertida en un cátodo, con bloqueo de todas las áreas de descarga de corriente en la superficie del caño.

Puede verse de la misma figura, que la corriente de protección debe fluir dentro del ambiente, desde una conexión especial en el terreno (dispersador de corriente) establecida con ese propósito. Por definición, los materiales utilizados en los dispersores son ánodos y debe producirse un consumo de material durante la descarga de corriente por lo que la corrosión no ha sido eliminada sino solo transferida de la estructura a proteger, hacia ubicaciones conocidas (dispersores), las cuales pueden ser diseñadas para descargar la corriente de protección catódica, por un período razonablemente largo y que una vez consumidas, pueden ser reemplazadas sin mayores problemas.

Con respecto a lo que puede hacer la Protección Catódica existen limitaciones. La corriente de protección catódica debe ser capaz de fluir a --

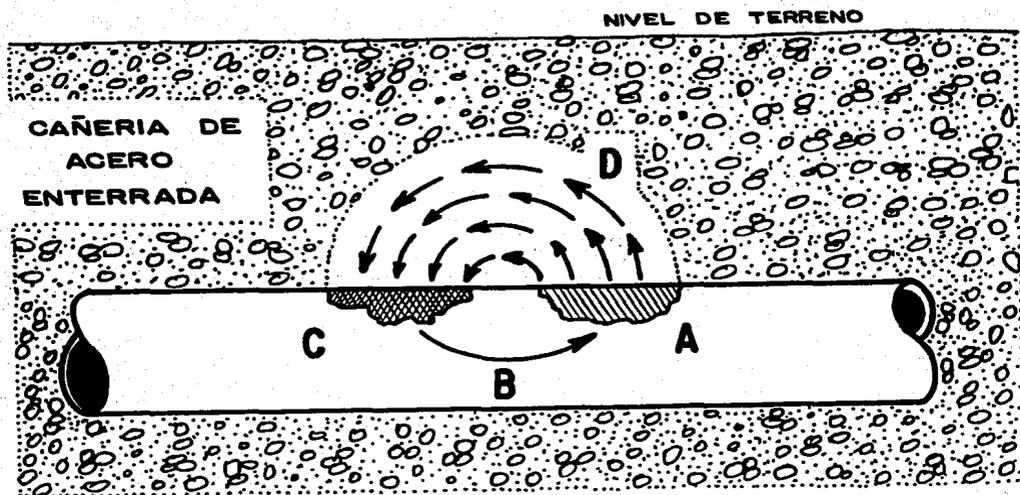


Figura No. 1.

Flujo de la corriente continua entre las áreas anódica y catódica en una sección de un caño enterrado (tubo Metálico).

- A.- Area anódica
- B.- Caño
- C.- Area catódica
- D.- Terreno

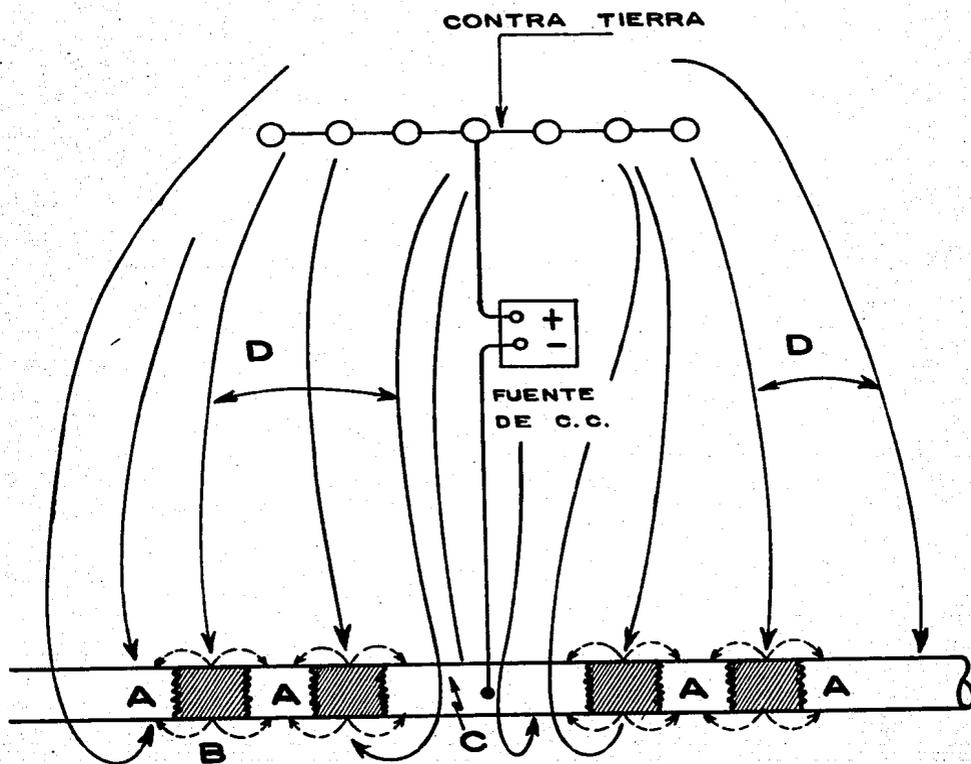


Figura No. 2

Manera básica para conseguir protección catódica.

A) son las áreas originalmente anódicas descargando corriente (corroyéndose); B) son flujos de corriente antes de aplicar la protección y que han sido neutralizados por la corriente de la contra tierra (+); C) es la estructura protegida y D) es la corriente de protección, de los dispersores hacia la estructura por proteger.

través de un ambiente conductor, a la superficie metálica que se protege. - Una instalación básica de protección catódica de una tubería, puede proteger solamente aquellas superficies externas de la cañería, que se encuentran en - contacto con un ambiente conductor. La parte interna de la cañería no reci- -- birá protección, aún cuando contenga o transporte un material conductor, dado que la corriente se intercepta por la cañería y devuelta a su fuente. Cual- -- quier porción de la cañería expuesta al aire es claro que no podrá recibir -- corriente de protección, al quedar fuera del sistema (electrolito) por ese -- simple hecho.

Si debe protegerse un conjunto de estructuras con poca separación entre ellas (como cables forrados con plomo), la corriente de protección fluye por la parte externa del conjunto. Esto se ilustra en la figura No. 3, sobre la limitación de la protección catódica en estructuras congestionadas.

Dado que el flujo de corriente a las estructuras más internas del con- -- junto es limitado, la protección lo será también, aún cuando las estructuras exteriores se encuentren recibiendo plena protección; a esto se llama "Escudo eléctrico", por el efecto de intercepción de la corriente de protección cau- -- sada por las estructuras exteriores en el conjunto.

Existen sistemas especiales de protección para este tipo de situaciones así como para la protección interior de cañerías que transportan materiales - corrosivos.

### 1.1.- ANODOS GALVANICOS.

En una combinación metálica disímil, un ánodo es el miembro que se co- -- rroe. Un ánodo galvánico (conocido también como de sacrificio), puede ser -- descrito como un metal que tiene una diferencia de voltaje con respecto de -- la estructura que se corroe, y que descargará la corriente que fluirá a tra- -- vés del ambiente a la estructura. Para efectuar ésto el ánodo galvánico debe

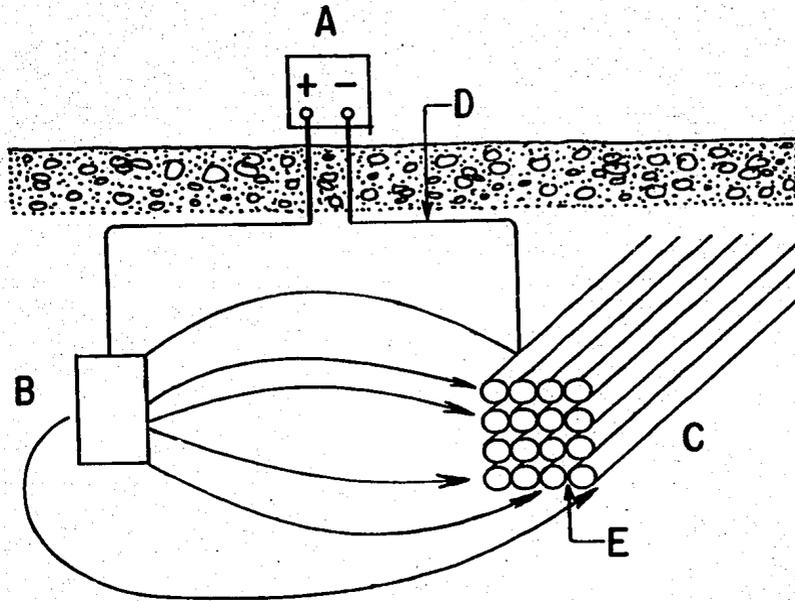


Figura No. 3

**Limitación de la Protección Catódica en estructuras congestionadas.**

A) es la fuente de corriente continua, B) ánodo dispersor, C) grupo de cables a proteger, D) cable negativo conectado a los 16 cables del grupo (no se muestran las conexiones), E) los cables interiores no reciben protección efectiva.

estar conectado eléctricamente a la estructura por proteger, y debe estar en contacto también con el ambiente conductor que contiene a la estructura. La figura No. 4, ilustra el uso de ánodos galvánicos en la protección de estructuras subterráneas. Como se muestra, puede medirse un voltaje entre la estructura que se corroe ( a proteger) y el material a usarse como ánodo; la estructura debe ser positiva con respecto al ánodo, para que éste puede descargar corriente al efectuar el contacto eléctrico.

Existen ciertos requerimientos para que un material sea un ánodo galvánico práctico:

1.- El potencial entre el metal del ánodo y la estructura, debe ser lo suficientemente grande como para vencer las células ánodo-cátodo en la estructura que se corroe.

2.- El material del ánodo debe poseer energía suficiente para permitir una larga vida útil, con un consumo adecuado y práctico de material.

3.- Los ánodos deben tener buena eficiencia; esto significa que debe disponerse de un porcentaje alto del contenido de energía eléctrica del ánodo, para una producción de una corriente de protección catódica útil. El resto de la energía que se consume en la autocorrosión del ánodo, debe ser muy pequeña.

El contenido de energía eléctrica de un material anódico es una característica básica del metal utilizado; se expresa en unidades de A-h/kg (amper-hora/ Kg ó libra).

Por ejemplo: el zinc puro tiene un contenido teórico máximo de energía eléctrica de 820.1 A-h/kg (372 A-h/lb). Esto significa que si un ánodo de zinc descarga un amperio continuamente, un kilogramo se consumiría en 820.1 h, o si descarga 1/10 de amperio, se llevaría 8201 horas (48 semanas) para consumir un kilogramo. Realmente el zinc opera con alrededor de un 95% de -

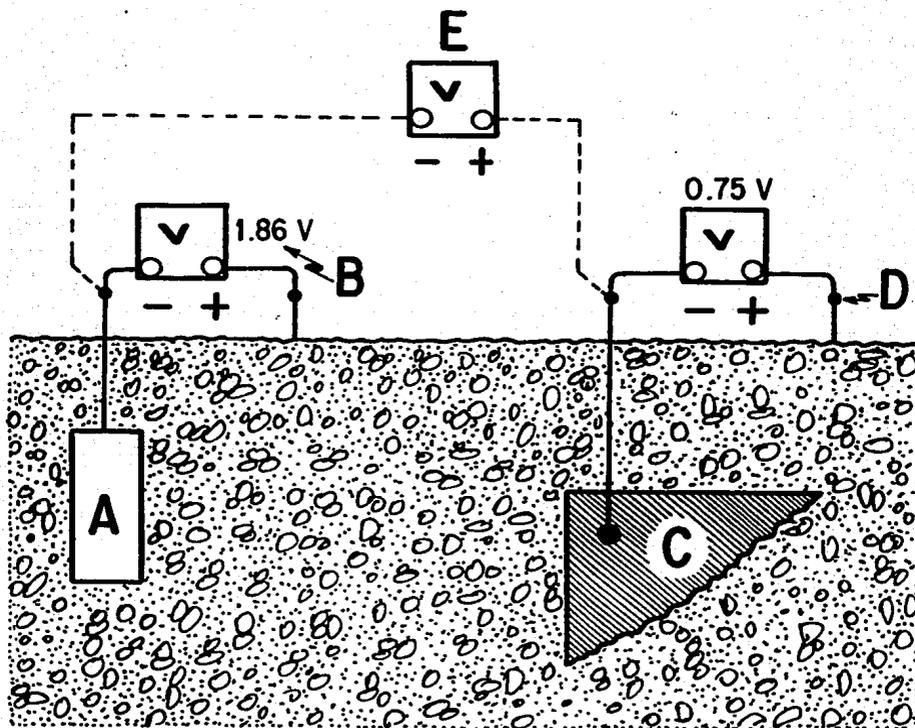


Figura No. 4 a)

#### Uso de Anodos Galvánicos en la Protección Catódica.

En (a) antes de conectar eléctricamente; A) es el ánodo galvánico aún no conectado a la estructura, B) esta lectura indica que el ánodo de magnesio es más negativo que la estructura por proteger, por lo que descargará corriente si se efectúa el contacto eléctrico, C) estructura a proteger, D) electrodo de referencia ( $\text{Cu-CuSO}_4$ ), E) 0.80 voltios de lectura en el voltímetro entre la estructura y el ánodo, estructura positiva.

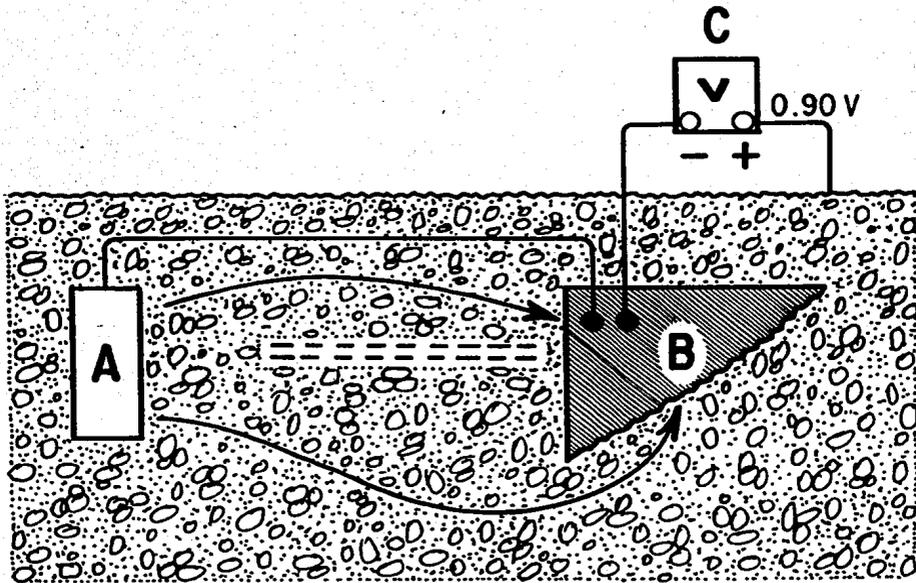


Figura No. 4 b)

#### Uso de Anodos Galvánicos en la Protección Catódica

En (b) después de efectuar el contacto eléctrico entre la estructura y el ánodo ( por medio de un alambre por ejemplo) . A) ánodo de magnesio conectado para brindar protección catódica, B) estructura protegida, C) - voltímetro mostrando el potencial de protección.

eficiencia; esto significa que el contenido de energía disponible de corriente útil sería de  $820.1 \times 0.95 = 779 \text{ A-h/kg}$  (353 A-h/lb).

Otra manera de expresar esto, es en términos de kg/A-año para lo cual la conversión sería:

$$779 \frac{\text{A-h}}{\text{kg}} \quad 8760 \text{ horas tiene un año. (h/año)}$$

Si dividimos:

$$\frac{8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}}{779 \frac{\text{A-h}}{\text{kg}}} = 11.2 \frac{\text{kg}}{\text{A-año}}$$

O también 24.8 lb/A-año. Significando, que peso de zinc será consumido de un ánodo descargando un amperio por un año, dicho valor de kg/A-año es -- útil para calcular la vida esperada de una instalación de un ánodo galvánico de zinc.

## CAPITULO 2

## SISTEMAS DE CORRIENTE IMPRESA.

En la sección anterior denominada "Como funciona la Protección Catódica" se muestra claramente el funcionamiento de un sistema típico de protección catódica de corriente impresa con este sistema, no se depende de los ánodos -- dispersores, como fuente de energía eléctrica; en su lugar se conecta alguna fuente de corriente continua externa, entre la estructura a proteger y los -- ánodos dispersores. El borne positivo de la fuente de corriente debe estar - conectado al dispersor, el cual es forzado a descargar entonces tanta corrien- te de protección como resulte necesaria. El borne negativo se conecta a la - estructura a proteger.

Los ánodos al descargar corriente se corroerán por lo que, una de las - principales características que se persiguen en la selección de ánodos disper- sores de sistemas de corriente impresa, es precisamente, el uso de materiales que se consuman a velocidades relativamente bajas, descargando grandes canti- dades de corriente, para obtener con esto una larga vida útil del sistema.

Es importante tener en cuenta que todas las partes enterradas del dis- persor, conectadas a la terminal positiva de la fuente de energía, pueden des- cargar corriente y corroerse en cualquier punto donde el metal se encuentre - en contacto con el ambiente conductor en el cual se encuentra colocado el -- dispersor; esto incluye por supuesto, el cable del rectificador a los ánodos dispersores y el cable que interconecta a los ánodos entre sí. Para descarga de corriente de los cables al medio, debe proveerse conductor de alta calidad de aislamiento, y todos los empalmes y conexiones deben estar perfectamente - aislados.

Ante cualquier defecto en el sistema de aislación, se producirá descar-

ga de corriente que corroerá el conductor hasta lograr interrumpir la conexión eléctrica entre el rectificador y toda o parte de la instalación del dispersor, dependiendo del lugar de la falla, con el consecuente detrimento para todo el sistema de protección.

Por contraste, todos los conductores enterrados que conectan los ánodos galvánicos autogeneradores de energía a una estructura, están sometidos a la toma de corriente del ambiente y por lo tanto, se encuentran libres de corrosión. Se usa aislación sobre estos conductores, para evitar que recorran corriente innecesaria. Este es también el caso para el cable que va de la terminal negativa de la fuente de corriente impresa a la estructura protegida.

Cuando se habla de sistemas de protección catódica de corriente impresa, la fuente de energía más utilizada es un rectificador. Este es un dispositivo el cual es provisto con energía de los sistemas públicos de electricidad, que convierte la corriente alterna a una corriente continua de voltaje menor, por medio de un transformador reductor y un dispositivo rectificador, que utiliza comunmente elementos de silicio o selenio (diodos). Estos elementos tienen baja resistencia al flujo de la corriente en una dirección y una alta resistencia en la dirección opuesta. La figura No. 5, muestra un circuito simplificado de un rectificador conectado en "puente", comunmente usado para sistemas de protección con rectificador.

Los símbolos en forma de flecha en los elementos rectificadores, muestran la dirección en que la corriente puede fluir libremente. Para la fuente usual de corriente alterna de 60 ciclos cada segundo, la dirección del flujo de corriente se invierte 120 veces por segundo. Conforme a la figura, en algún momento, puede estar originándose la corriente en la conexión (1) en el transformador secundario; el único paso que esta corriente podrá tomar, será a través de la rama C del rectificador conectado en puente a través del circuito externo (dispersor a la estructura protegida) y a través de la ra-

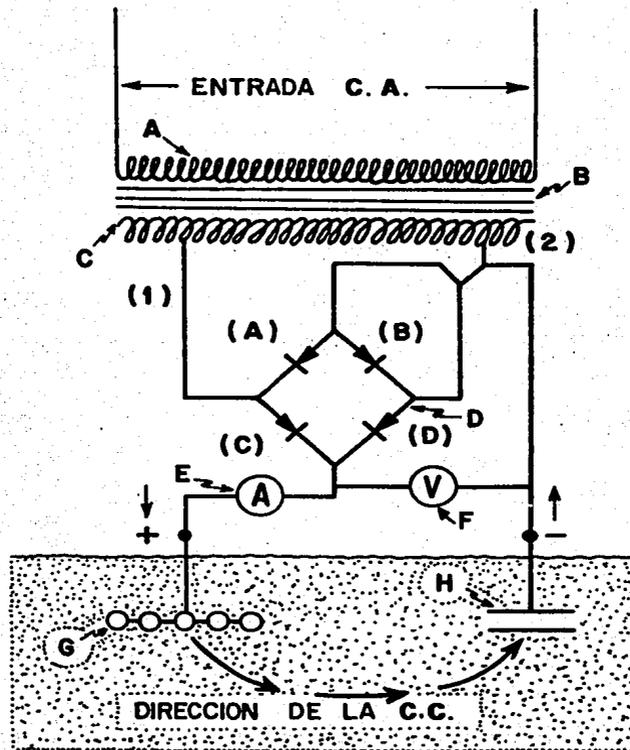


Figura No. 5

Circuito de un rectificador conectado en "puente"

A) arrollamiento primario, B) transformador reductor, C) arrollamiento secundario. (1,2) derivado. D) elementos rectificadores (A,B,C,D) conectados en puente, E) medidor de corriente continua, F) Voltímetro de corriente continua, G) dispensor, H) estructura protegida catódicamente.

ma (B) del rectificador, para retornar al enrollamiento secundario en (2). - 1/120 de segundo después, la dirección de la corriente habrá invertido y originará en la conexión (2); bajo esta condición, el único paso que puede to--mar para alcanzar la conexión (1), será a través de la rama del rectificador (D) el circuito externo y la rama del rectificador (A).

Para cualquier dirección del flujo de corriente alterna el flujo de -- corriente a través del circuito externo, se produce, en una dirección sola--mente (corriente continua).

## CAPITULO 3

## CRITERIO PARA PROTECCION CATODICA.

Cualquier criterio usado en conexión con la protección catódica, es un medio que puede ser usado para determinar si una estructura supuestamente -- bajo protección catódica, está o no realmente protegida completamente contra la corrosión.-

## Potencial al Ambiente.-

Las mediciones de potencial son usadas en su mayoría comunmente, como un criterio de protección. La base para esto es, que si la corriente está -- fluyendo hacia una estructura, debe haber un cambio en el potencial de la -- estructura con respecto al ambiente; esto es a causa de que el flujo de co-- rriente provoca un cambio de potencial, el cual es una combinación de la -- caída de voltaje a través de la resistencia, entre la estructura protegida y el ambiente y el potencial de polarización desarrollado en la superficie de la estructura.

La resistencia entre la estructura protegida y el ambiente, incluye -- la resistencia de cualquier pintura o recubrimiento eléctricamente aislante sobre la estructura. El resultado neto es que la estructura que se está -- protegiendo, se hará más negativa con respecto a su ambiente.

Para ampliar un poco el tópico de la polarización. Si sólo se colecta -- ra la corriente suficiente en las áreas catódicas como para polarizarlas -- exactamente al potencial de circuito abierto de las áreas anódicas, la co-- rrosión se detendría; a causa de que no existiría más un potencial motriz -- que cause el flujo de la corriente de corrosión.

Sin embargo, en las aplicaciones prácticas de la protección catódica - es muy raro conseguir tal delicado equilibrio, y el caso usual, es tener un flujo neto de corriente en las áreas originalmente anódicas. Sin embargo -- esto indica que la medición del potencial de polarización, debe ser una buena manera de decir, cuando la cantidad mínima de corriente dando plena protección, está alcanzando la superficie metálica.

Sobre estas bases, el lugar deseable para medir potencial, debe ser -- a través de la interfase entre la cañería y el ambiente; realmente en la --- práctica esto no es posible en muchos casos ( particularmente en estructuras enterradas) y se hace necesario recurrir a potenciales medidos entre la estructura y la superficie del ambiente directamente arriba ( o de otra manera la más cercana) de la estructura. El potencial medido incluye ahora, el potencial de polarización, más una porción de la caída de voltaje a través de la resistencia "estructura-tierra remota", como se muestra por el potencial medido entre la estructura y el punto A de la figura No. 6.

Bajo algunas condiciones es deseable la medición del potencial entre la estructura y la tierra remota, punto C.

La expresión "tierra remota" significa el conductor infinito (resistencia cero, para propósitos prácticos) que constituye la masa de la tierra.

Con alguna idea de medir el potencial, la cuestión siguiente es cómo - hacerlo y qué voltaje es necesario para indicar protección.

Aunque en la medición de un potencial entre una estructura enterrada y la tierra ; es fácil visualizar un alambre u otro conductor, conectado a un voltímetro y éste a la estructura. Conectar realmente, un alambre del voltímetro a la tierra, es otro asunto. Esto se logra por contacto de la tierra u otro ambiente conductor, con un electrodo de referencia. Este es un dispositivo estable, adecuado para uso de campo, el cual permite resultados - reproducibles. La figura No. 7 muestra como tomar las mediciones de potencial.

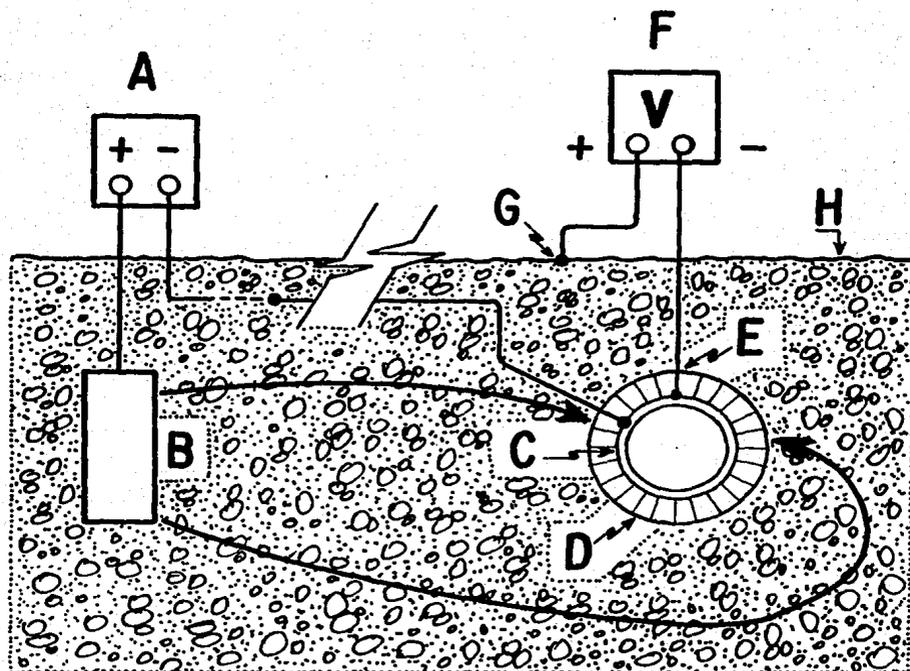


Figura No. 6 a)

**Cambio de potencial estructura-suelo, con el flujo de la corriente de protección catódica.**

(a) Esquema general.- A) fuente de energía de protección, B) ánodo dispersor, C) caño, D) recubrimiento, E) punto de contacto con el tubo, F) voltímetro; cuando está conectado como se muestra la aguja se moverá hacia arriba en la escala cuando el sistema de protección es energizado y fuerza a la corriente a fluir a la superficie del caño, G) punto de contacto con la tierra cercana, H) punto de contacto con la tierra remota, al terminal positivo del voltímetro.

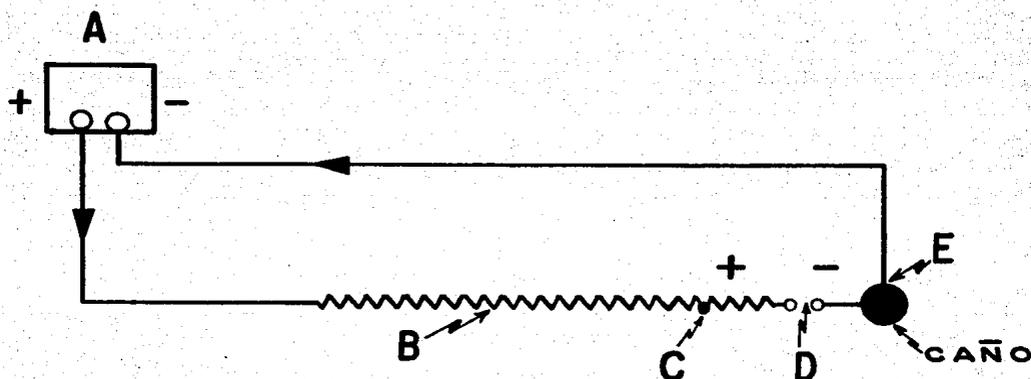


Figura No. 6 b)

**Cambio de potencial estructura-suelo, con el flujo de la corriente de protección catódica.**

(b) Circuito equivalente 1) tubo dentro del área de influencia del dispersor. A) fuente de energía, B) combinación de la resistencia ánodo--tierra y la resistencia caño--tierra; la cual es menor que la suma de las resistencias de caño y ánodo a la tierra remota, C) punto de la tierra --sobre el caño, D) potencial polarizado, E) punto de contacto con el oleoducto.

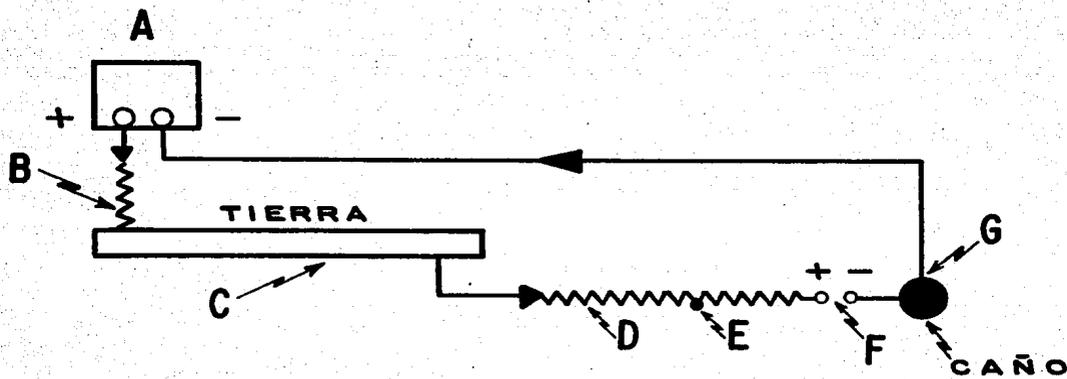


Figura No. 6 c)

Cambio de potencial estructura-suelo, con el flujo de la corriente de protección catódica.

(c) Circuito equivalente. 2) Dispensador eléctricamente remoto del oleoducto. A) fuente de energía, B) resistencia de los ánodos dispersores a la tierra remota; C) punto C (ver H en parte (a)); D) resistencia entre el ducto y la tierra remota; E) punto en la tierra sobre el año (ver G en parte (a)); F) polarización (potencial); G) punto de contacto con el ducto.

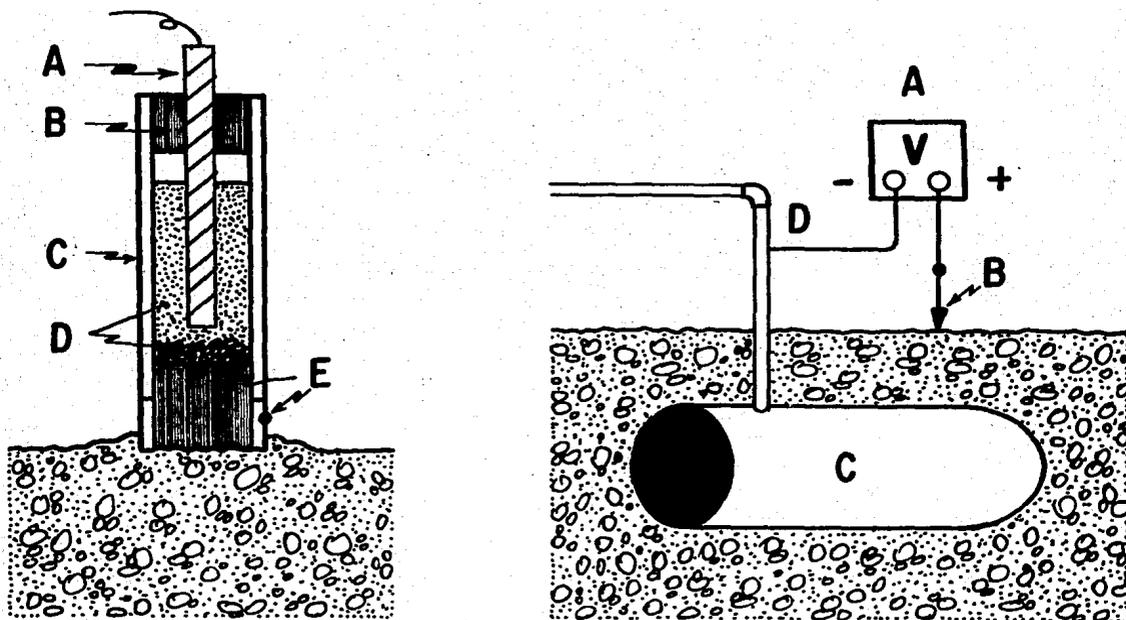


Figura no. 7 a) y b)

**Medición de potencial, estructura-suelo.**

(a) Detalle del electrodo de referencia de cobre-sulfato de cobre. -  
 A) varilla de cobre conectada al voltímetro; B) tapa o tapón sellador; C) recipiente hecho de material aislante; D) solución saturada de sulfato de cobre, con exceso de cristales para asegurar la saturación completa; E) tapón poroso que permite que la solución del sulfato de cobre efectúe contacto eléctrico con el suelo o el agua.

(b) Medida de potencial. A) voltímetro de alta resistencia; B) electrodo de referencia; C) estructura a proteger o protegida; D) buen contacto eléctrico con la estructura (un tanque en este caso).

### 3.1.- MEDICION DE POTENCIAL ESTRUCTURA-SUELO

#### Electrodos de Referencia.-

Un electrodo de referencia común (llamado también, mediacelda) como el mostrado en la figura anterior, es usado ampliamente en trabajos de protección catódica. Cualquier lectura de voltaje tomada entre la estructura y el electrodo de sulfato de cobre, consistirá de dos partes (potenciales de mediacelda); una de estas será el potencial de media celda entre el electrodo en sí y la tierra a través del contacto del tapón poroso; este es un valor constante para todos los propósitos prácticos, bajo la mayoría de las condiciones de campo. La otra será el potencial de media celda entre la estructura y la tierra, ésta es la variable que nos interesa. En la práctica no es necesario separar los dos potenciales de medias celdas ya que interesa principalmente los cambios de potencial de la estructura a la porción de la tierra o electrolito, y este cambio se muestra en el valor total registrado por el voltímetro.

Si nos referimos a una estructura de acero, un valor de  $-0.85$  voltios o más leído en el aparato, en la figura anterior, indicará plena protección catódica. Esto se interpreta como significando que el potencial de la estructura es de menos  $0.85$  voltios, con respecto al electrodo de sulfato de cobre y está basado en valor  $-0.80$  voltios, asignado al acero más altamente anódico, encontrado en las situaciones prácticas. A causa de que el electrodo de sulfato de cobre, no puede ser colocado cerca de la estructura, en muchos casos (tales como cuando tiene que ser colocado en la superficie de la tierra en una estructura enterrada), y para permitir algún aumento en el potencial de las áreas más altamente anódicas, se ha adoptado el valor práctico de  $-0.85$  voltios.

Cuando deben protegerse otros metales distintos al acero, pueden utilizarse como criterios de protección, potenciales diferentes a la referencia

de sulfato de cobre.

Para cables forrados de plomo, un valor común es  $-0.70$  voltios; para el aluminio, el potencial debe ser mantenido en los límites de  $-1.00$  y  $-1.20$  voltios; nótese que se dá un valor superior para el aluminio. Esto es a causa de la alcalinidad provocada sobre la superficie del aluminio, por el proceso de protección catódica y que es corrosivo al mismo. Este metal si está sometido a protección catódica excesiva, puede corroerse más rápidamente que si no estuviera protegido. El acero, no está sometido a este efecto. Usualmente el plomo no es un problema a menos que se interrumpa la fuente de corriente de protección durante un período prolongado; en este caso la alcalinidad desarrollada en la superficie del plomo, tendrá una oportunidad de corroer el plomo.

El grado de protección catódica conseguido, puede también ser evaluado utilizando otros electrodos de referencia estables, para lo cual los potenciales indicadores de protección serán diferentes, cuando sus potenciales de media celda difieran del electrodo de sulfato de cobre.

El electrodo de calomel es usado para investigaciones sobre el terreno aunque se usa más comunmente como una referencia en estudios de laboratorio.

El electrodo de plata-cloruro de plata se usa para trabajos en agua de mar, lugares donde el electrodo debe estar sumergido, ya que no está sometido a contaminación por el agua salada, como puede suceder con el electrodo de cobre-sulfato-de cobre (la presión a una profundidad moderada fuerza al agua dentro de la celda provocando contaminación).

el zinc puro con material de relleno ( back-fill) constituye un buen electrodo de referencia, de instalación permanente, para control periódico de puntos claves. El zinc puro sin relleno puede usarse en agua de mar, pero debe ser controlado contra todo tipo de referencia previo a cada uso. No es adecuado el contacto a la tierra con una varilla de acero ya que el po--

tencial de la media celda acero-tierra, no es estable.

En la tabla No. 1, se incluye una guía práctica para la diferencia -- de potencial entre diversos tipos de electrodos.

#### Muestra de Ensayo.-

Puede obtenerse una mejor prueba de que la protección catódica está -- funcionando, utilizando muestras del mismo metal que compone la estructura - protegida.

Se pesan cuidadosamente y se conectan eléctricamente a la estructura - protegida. Los trozos deben colocarse donde puedan recibir la misma exposi- ción a la corriente de protección que recibe la estructura y después de un tiempo de exposición conocida, se retiran y se pesan; cualquier pérdida en - el peso indicará una protección catódica incompleta.

Las muestras de metal deben colocarse donde los potenciales de protec- ción son más bajos, (como se indique por las mediciones con un electrodo de referencia adecuado) o en lugares donde se sospeche que el grado de protec- ción puede ser deficiente.

#### Cambio de Potencial.-

Algunos especialistas, cuando trabajan con estructuras desnudas gran- des, utilizan un cambio de potencial de 0.2 a 0.3 voltios, cuando se aplica corriente de protección, como una indicación de un grado razonable de pro- tección, catódica. Esto involucra la medición del potencial con la corrien- te sin circular y luego con la corriente aplicada. Un cambio de potencial en la dirección negativa de 0.2 a 0.3 voltios, indica que la estructura está tomando corriente; esto puede no significar que se haya alcanzado el valor -

**Tabla No. 1**  
**COMPARACION DE POTENCIALES DE OTROS ELECTRODOS DE REFERENCIA ,**  
**CON EL DE COBRE-SULFATO DE COBRE A 25<sup>o</sup> C.**

Tipo de electrodo	(1)	(2)
Calomel saturado	- 0.778 voltios	Agreg.-0.072 voltios
Plata-cloruro de plata (solución 0.1N KC1)	- 0.840 Voltios	Agreg.-0.010 voltios
Plata-cloruro de plata (malla de Ag con AgCl <sub>2</sub> depositado)	- 0.78	Agreg.-0.07 Voltios
Zinc puro (grado especial)	+0.25 (3)	Agreg.-1.10 Voltios

- 1.- Lectura estructura-electrodo comparativo de referencia equivalente a -0.85 voltios con respecto al electrodo de sulfato de cobre.
- 2.- Para corregir lecturas entre la estructura y el electrodo comparativo -- de referencia, a lecturas equivalentes con respecto al de sulfato de cobre.
- 3.- Basado en el zinc, con un potencial de circuito abierto de -1.10 voltios con respecto al electrodo de sulfato de cobre.

mínimo de potencial,  $-0.85$  voltios, para protección con respecto al electrodo de sulfato de cobre en el caso del acero; y como resultado no puede afirmarse que la corrosión se haya controlado completamente, sin embargo, en muchas ocasiones, puede reducirse en gran medida la velocidad de corrosión, si siguiendo este criterio.

#### Reconocimiento de la Protección Catódica.-

En muchas circunstancias, previo al diseño de la instalación de protección catódica, es necesario efectuar un reconocimiento sobre el terreno. Tal examen se efectúa para reunir los datos necesarios para permitir un diseño - apropiado.

## CAPITULO 4

## ENSAYOS DE REQUERIMIENTOS DE CORRIENTE.

La corriente necesaria para proteger una estructura metálica enterrada dada, puede variar entre límites muy amplios que dependen de la naturaleza del terreno, de la presencia o no de un recubrimiento protector y en caso de haberlo, de su calidad, así como de su estado. Como un ejemplo. Se supone que una estructura de acero a proteger, está enterrada en un terreno corrosivo, teniendo un área expuesta de  $92.9 \text{ m}^2$ . La corriente requerida, suponiendo una distribución uniforme de corriente puede tomar valor de alrededor de 3 amperios si la estructura es desnuda o tan poco como, 30 micro amperes o tal vez menos, si la estructura tiene un recubrimiento de muy alta calidad.

Sin embargo, no puede suponerse que solo por el hecho de que una estructura se encuentre recubierta, tomará una corriente muy pequeña para su protección catódica. Un material de recubrimiento pobre o un material bueno, mal aplicado, tomará mucha más corriente. El mismo caso anterior pero con un recubrimiento pobre, puede resultar en un requerimiento de corriente de 15 miliamperios o más; esta cifra puede no parecer mucho pero es 500 veces mayor que los 30 microamperios de consumo para un recubrimiento de alta calidad y bien aplicado. Esta diferencia significa mucho en el caso de estructuras muy grandes tales como una tubería de gran diámetro y longitud.

## 4.1.- ENSAYOS PARA UNA LINEA REVESTIDA.

Existiendo intervalos muy amplios de requerimiento de corriente de protección, se efectúan ensayos para determinar con aproximación, cuanta corriente se necesita realmente para dar una protección adecuada a una es--

estructura dada. Esto puede hacerse aplicando corriente a la estructura por medio de un equipo temporario y ajustando la corriente de la fuente de energía hasta que se obtengan potenciales de protección adecuados. La figura -- No. 8, muestra una sección de 150 m de una cañería de 36" de diámetro a la cual se le efectúa un ensayo.

El flujo de corriente puede ser regulado por medio de resistencias de servicio pesado. Con el interruptor cerrado, puede aumentarse la corriente gradualmente, hasta que el voltímetro en la posición B alcanza los  $-0.85$  voltios con respecto del electrodo de referencia de sulfato de cobre. Es más provechoso tener un observador en la posición B, para controlar el cambio de potencial, particularmente si se dispone de radio u otro medio de comunicación entre A y B.

Una vez que se alcanza el  $-0.85$  voltios en la posición B, el observador puede cambiar su electrodo de sulfato de cobre, a una posición sobre el caño en el lado opuesto de la junta aislante (posición D) y observar la lectura del voltímetro con el interruptor abierto (sin corriente) y con el mismo cerrado. El observador en A debe efectuar el mismo ensayo en la posición C. La razón para este procedimiento es ver si las juntas eléctricas son plenamente efectivas, (no es necesario cuando se trabaja con estructuras aisladas). Los resultados que pueden obtenerse del ensayo, son los siguientes:

Ejemplo 1.- Con  $0.85$  voltios en B. Una lectura de  $-0.85$  voltios con la corriente circulando y  $-0.68$  con la corriente interrumpida en D, debe indicar que la junta aislante no es efectiva. Esto es a causa de que el valor de la corriente circulante leído en D es el mismo que el leído en B. La lectura de corriente interrumpida en B debe ser tomada y si se encuentra ser -- igual a la de D ( $-0.68$ ) es muy probable que haya una junta aislante en corto circuito.

Ejemplo 2.- Con  $0.85$  voltios en B. Una lectura en D de por ejemplo --  $-0.65$  voltios, sin cambios para la corriente circulando o interrumpida, indi

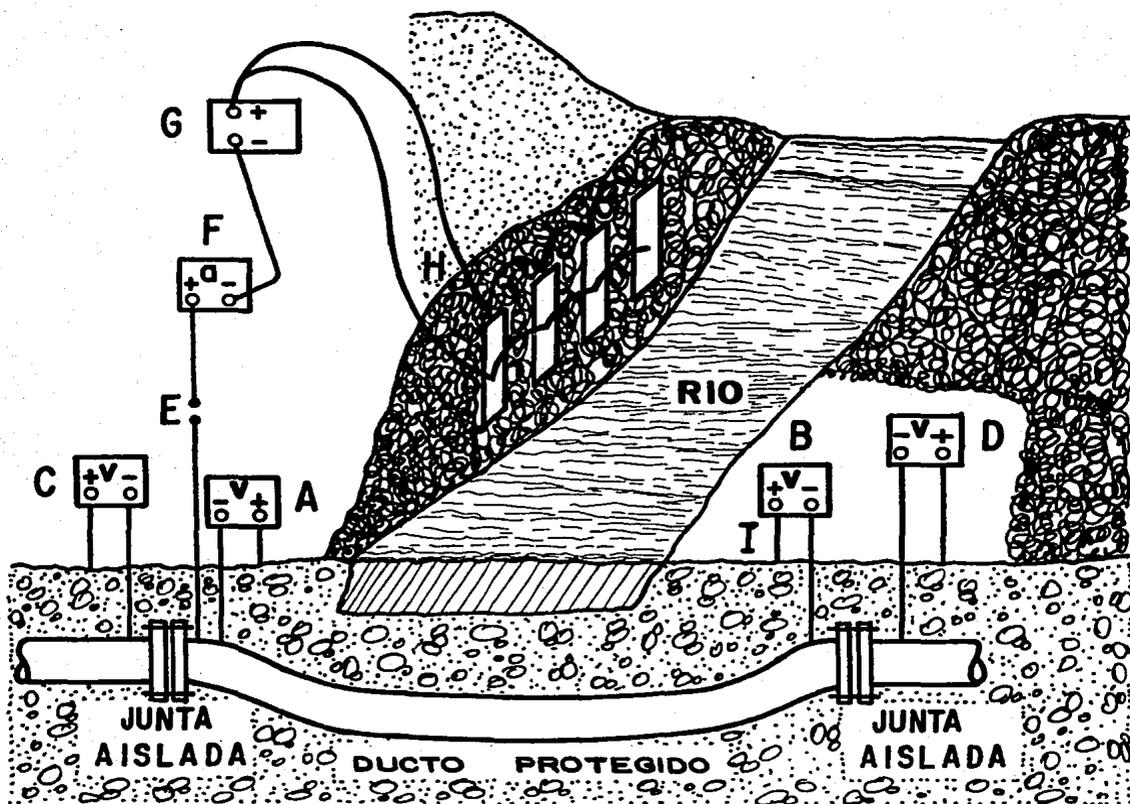


Figura No. 8

Medición de la corriente requerida para proteger un caño enterrado.

A,B,C,D.- Voltímetros. E) interruptor; F) amperímetro de corriente -  
 continúa; G) fuente ajustable de corriente continua; H) dispersor tempora-  
 rio de varillas enterradas en terreno de baja resistencia a 30 m o más del  
 caño, en línea perpendicular; I) electrodo de referencia de  $\text{Cu-CuSO}_4$  colo-  
 cado directamente encima del caño.

ca que la junta aislante se comporta correctamente y que no hay pérdida significativa de corriente de protección catódica.

Ejemplo 3.- Con -0.85 voltios en B. Una lectura en D de -0.63 voltios con corriente circulando, y -0.65 voltios con corriente interrumpida; indica una tendencia de la corriente a descargar del extremo no protegido de la sección del caño (corroyéndolo) y fluir a través de la tierra alrededor de la junta aislante a la sección protegida bajo ensayo. Esto no significa que la junta aislante sea defectuosa, sino que puede haber una corrosión local en el extremo de la sección protegida lo que requerirá corrección.

Si los ensayos para la situación ilustrada muestran que las juntas -- aislantes colocadas en las bridas de ambos lados de la línea de tubería son efectivas, y que se ha conseguido el 0.85 en la posición B, con la fuente -- de poder de la protección catódica temporaria, descargando 25 miliamperios -- (por ejemplo) , puede esperarse que una instalación permanente efectúe el -- trabajo, con aproximadamente el mismo consumo de corriente.

Los 150 m del caño de 36" (90 cm) deben tener una superficie de 437.7 m<sup>2</sup> . Esto significa que el requerimiento de corriente promedio por metro cuadrado debe ser  $25/437.7 = 0.057$  miliamperios o 57 microamperios por metro cuadrado.

#### 4.2.-ENSAYOS PARA UNA ESTRUCTURA DESNUDA.

Cuando se efectúan ensayos de este tipo en estructuras completamente -- desnudas, los resultados son muy diferentes.

Suponiendo que un tanque grande de acero desnudo, enterrado, deba ser protegido catódicamente, con una superficie expuesta de 464.5 m<sup>2</sup> conforme -- a la figura No. 9.

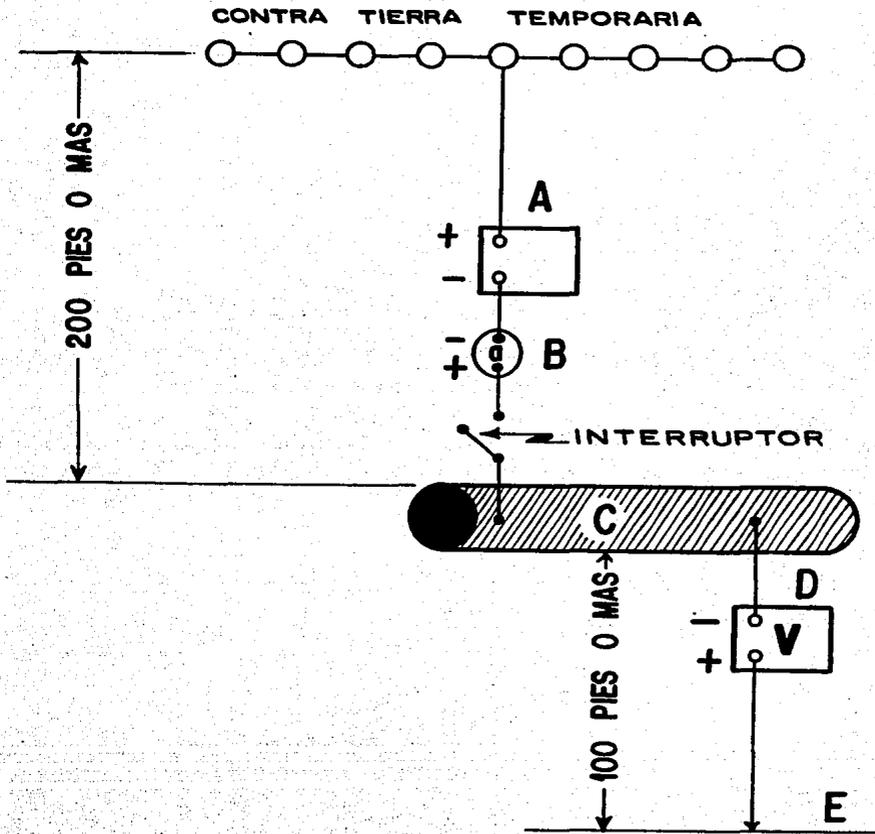


Figura No. 9

Protección de un tanque de acero, enterrado.

A) fuente de energía de corriente continua; B) amperímetro; C) tanque no revestido; D) voltímetro de alta resistencia; E) electrodo de referencia de sulfato de cobre en ubicación remota.

La razón para la ubicación remota en este caso del electrodo de referencia se explica por lo siguiente: Sobre una estructura bien recubierta, -- la mayoría de la resistencia entre la estructura y la tierra consiste en la resistencia del recubrimiento mismo. Bajo estas condiciones una medición de potencial entre la estructura y el terreno cercano a ella, normalmente será suficiente para indicar el grado de protección.

Con una estructura sin recubrimiento, la resistencia entre la estructura y la tierra consiste en la resistencia de contacto entre la estructura y la tierra en la superficie misma de la estructura, más la resistencia de la masa de la tierra que rodea la estructura; esto significa que para leer el potencial máximo entre el tanque y la tierra, es necesario colocar el electrodo de referencia, lo suficientemente lejos de la estructura, de manera de incluir la mayor resistencia.

Aunque existen refinamientos para este procedimiento, una distancia de 30 m será la adecuada, a menos que sea demasiado grande. Lo adecuado de esta distancia puede ser probado fácilmente efectuando una medición (bajo una condición pareja de flujo de corriente de protección a la estructura) a la distancia de 30 m y moviendo entonces más lejos el electrodo de la estructura (10 m) tomando el potencial en cada posición.

Si lecturas sucesivas de potencial se hacen más negativas en valor, -- a medida que se aumenta la distancia, significa que la posición original -- del electrodo no era exterior a la mayor porción de la resistencia estructura-tierra. Sin embargo una vez que se alcanza un punto más allá del cual -- no existe aumento significativo en las lecturas negativas, la mayor parte -- de la resistencia ha entrado en puente, y el electrodo está en la tierra la cual es "eléctricamente remota" de la estructura bajo ensayo.

Con un potencial de una estructura desnuda de acero de -0.85 voltios, con respecto a un electrodo de referencia de sulfato de cobre colocado en la tierra remota, se obtiene un grado práctico de protección catódica. Sin

embargo la protección puede no ser absoluta a menos que la estructura se encuentre completamente polarizada, lo cual significa que la lectura en la estructura debe ser  $-0.85$  voltios con respecto a la referencia de sulfato de cobre, inmediatamente después de abrir el interruptor de la fuente de energía (condición de corriente interrumpida), más que alcanzar últimamente el mínimo de  $-0.85$  voltios con la corriente circulando. Los potenciales de polarización deben leerse rápidamente (dentro de un seg) después que se abre el interruptor de la fuente de energía, a causa de que comienzan a desaparecer inmediatamente.

Una estructura bien recubierta se polarizará muy rápidamente, cuando se aplica una corriente de ensayo de protección catódica. Esto significa que con un valor dado de corriente aplicada, los potenciales observados entre la estructura y la tierra, justo después de que la corriente es aplicada, representarán para todos los fines prácticos, los potenciales polarizados finales de protección, obtenidos con una instalación permanente de protección catódica. Sin embargo, cuando se efectúa un ensayo en una estructura desnuda grande, se encontrará que, en la mayoría de los casos, el potencial observado entre la estructura y la tierra, con un valor dado de corriente de ensayo se aumentará (se hará más negativo) con el tiempo. Esto es causado por el desarrollo de una película de polarización. Bajo algunas condiciones no puede conseguirse la polarización completa por días, semanas o aún meses. Esto sugiere que al efectuar un ensayo de requerimiento de corriente en una estructura desnuda grande, puede ser un proceso largo.

Este procedimiento puede ser acortado sustancialmente mediante el trazado de una curva de polarización la cual, aunque no esté completa, pueda ser extrapolada (extendida) para dar los probables resultados finales para un valor dado de la corriente de ensayo.

La corriente de ensayo utilizada debe ser una aproximación razonable del requerimiento probable de corriente. Esto puede ser estimado admitiendo

10.7 miliamperes por metro cuadrado para una estructura desnuda de acero recién enterrada ó  $32.2 \text{ mA/m}^2$ , si ha estado enterrada durante varios años. En el ejemplo del tanque desnudo mencionado anteriormente, una corriente de ensayo podría ser  $464.5 \text{ m}^2$  (superficie) multiplicados por  $32.2 \text{ mA/m}^2$  o sea 15 amperios de corriente en el caso de que el tanque tenga ya tiempo de enterrado. La fuente de energía para el ensayo debe poseer capacidad suficiente para producir esta cantidad de corriente durante un tiempo sustancial (posiblemente 24 hr ó más), si se debe obtener una curva de polarización razonable. Como fuentes de energía pueden usarse un equipo motor-generador; un rectificador portátil (si se dispone de corriente alterna), o una máquina de soldar.

#### Características de la Curva de Polarización.-

Una curva de polarización para el tanque de acero desnudo, durante el ensayo de requerimiento de corriente se muestra en la figura No. 10.

la curva proyectada indica que el máximo potencial de protección estará en el orden de  $-0.82$  voltios a 15 amperes en lugar de  $0.85$  voltios al electrodo de sulfato de cobre como se desea. Nótese que el cambio total de voltaje del potencial original de la estructura, antes de aplicar la protección, fue de  $+0.26$  voltios; ya que 15 A produjeron este resultado, el cambio promedio de potencial por ampere es de  $0.26/15 = 0.0173 \text{ volt/A}$ . Se necesita un cambio adicional de  $0.03$  voltios para elevar el potencial de  $-0.82$  indicado por la curva al mínimo de  $-0.85$  voltios, por lo que la corriente adicional será de:  $0.03/0.0173 = 1.73$  amperios. Sobre esta base, la corriente total necesaria para protección del tanque será  $16.73$  amperios en vez de 15. En la práctica no es necesario ajustar la fuente de energía tan exactamente, sería razonable un ajuste a 17 amperios.

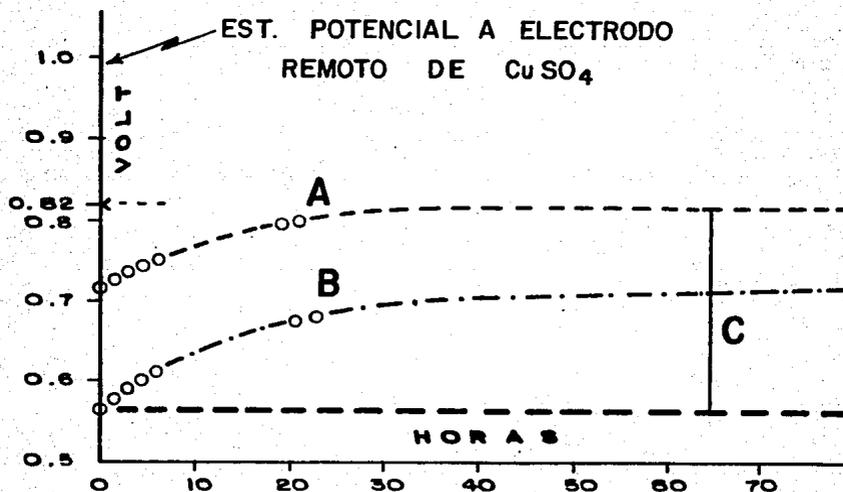


Figura No. 10  
 Curva de Polarización para un tanque de acero  
 de  $464.5 \text{ m}^2$  de superficie.

Corriente de ensayo aplicada, 15 amperios. A) potencial con la corriente de ensayo en circulación; B) potencial con la corriente de ensayo interrumpida momentáneamente (potencial de polarización); C) cambio total de corriente a 15 amp =  $0.82 - 0.56 = 0.26$  voltios.

Este método de modificar los datos de ensayo para obtener el valor correcto de la corriente para protección en el campo puede no ser estrictamente exacto; pero es considerado suficiente para propósitos prácticos, siempre que el valor seleccionado para el ensayo de requerimiento de corriente, se encuentre razonablemente cerca del valor final.

En este punto sería interesante retroceder y comparar los resultados de los dos ensayos de requerimientos de corriente descritos; el ejemplo de la cañería recubierta, y el del tanque desnudo. Las superficies de las dos estructuras son aproximadamente las mismas, pero la estructura desnuda, requiere de 16.73 A para su protección, mientras que la recubierta sólo necesita 25 miliamperios (0.025 A); esto significa que la estructura desnuda en este caso particular necesita  $16.73/0.025 = 670$  o sea aproximadamente 670 veces más corriente que la recubierta. Esto muestra de manera clara, la gran capacidad de limitación de corriente que se logra con un buen recubrimiento bien aplicado.

En la figura No. 10 se incluye una curva de potencial de polarización (la más baja) la cual muestra que el máximo potencial polarizado (tomado inmediatamente después de abrir el interruptor de la fuente de corriente) es considerablemente menor que -0.85 voltios. Aún cuando podamos conseguir -0.85 voltios a la tierra remota con la corriente circulando, puede haber en la superficie del caño, pequeñas celdas de corrosión que no hayan sido suprimidas completamente. Para realizar un buen trabajo de supresión de la corrosión, necesita polarizarse toda la superficie de la estructura a -0.85 voltios o mayor.

Sin embargo, analizando la figura puede verse que tomaría 50% más corriente para elevar el potencial polarizado (con la corriente apagada) a 0.85 voltios.

En la práctica, se ha encontrado que los -0.85 voltios al electrodo --

remoto en las estructuras desnudas, con la corriente de protección circulando, brinda un buen control de la velocidad de corrosión y por esa razón se utiliza comúnmente a causa de que resulta menos costoso. Cuesta sustancialmente más proteger una estructura grande desnuda, que una similar recubierta.

## CAPITULO 5

## ENSAYO DE RESISTENCIA DE LOS RECURRIMIENTOS

Los recubrimientos son la causa principal de la resistencia entre la estructura y la tierra. Los mismos están sometidos al deterioro gradual con el tiempo, dependiendo la velocidad de deterioro de la calidad y de las condiciones ambientales. Los ensayos de resistencia de los recubrimientos son útiles sobre las estructuras recién recubiertas y a intervalos durante su vida operativa, para evaluar el comportamiento del recubrimiento. Esta información es particularmente útil, cuando se deben seleccionar recubrimientos para proyectos posteriores.

Un recubrimiento que tenga alta resistencia es el medio de reducir a valores muy pequeños el requerimiento de corriente de protección. Los ensayos iniciales de recubrimientos pueden ser una guía a los probables requerimientos iniciales de corriente de protección. Los ensayos posteriores mostrarán si se efectúan de manera periódica, cual es el descenso de la resistencia con el tiempo (o sea, el resultado del deterioro), a medida que la resistencia del recubrimiento decrece, el requerimiento de corriente para protección debe aumentar para conservar el mismo grado de protección catódica.

Supongamos que va a medirse la resistencia del recubrimiento en una sección aislada eléctricamente de un caño de acero de 24" de diámetro (60 cm) exterior el cual se encuentra bien recubierto; la figura No. 11 muestra el caso.

Como se muestra en la figura No. 11, la resistencia total de la barra del recubrimiento entre el caño y la tierra, puede medirse pasando corriente directa a través de él determinando la caída de voltaje a través del recubrimiento provocada por la corriente y calculando la resistencia en ohms mediante la ley de ohm.

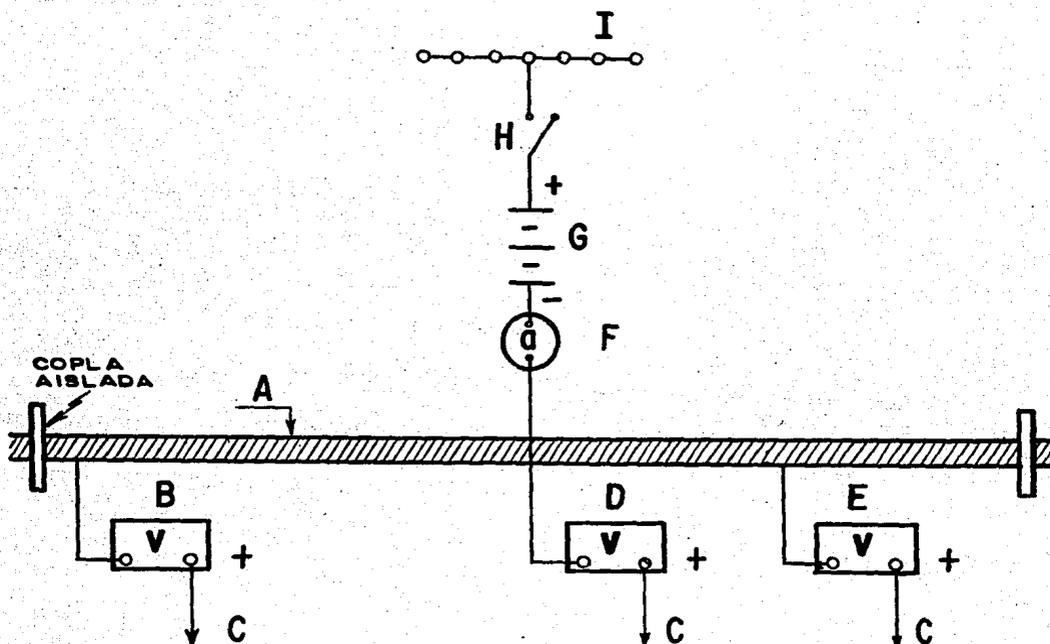


Figura No. 11

**Medición de la resistencia del recubrimiento de una sección de caño enterrado.**

A) sección de 4.8 km de una línea de tubería con recubrimiento.

<u>VOLTIMETRO</u>	<u>VOLTS CONECTADO</u>	<u>VOLTS APAGADO</u>	<u>DIFERENCIA VOLTS.</u>
B	- 1.33	- 0.88	0.45
D	- 1.47	- 0.98	0.49
E	- 1.36	- 0.89	0.47

C) electrodos de sulfato de cobre a tierra remota; F) amperímetro -  
0.086 amp., interruptor cerrado; G) batería; H) interruptor; I) lecho de -  
tierra temporario.

Con un dispersor y una fuente de energía temporarios, como se muestra en la figura 11, se mide la corriente drenada por la estructura (en este caso 0.086 amp) y se mide el potencial a la tierra remota, con la corriente circulando y con la corriente apagada a intervalos a lo largo del caño. En este caso se utilizaron tres ubicaciones. Para estructuras más pequeñas ( como un --tanque subterráneo), una ubicación sería suficiente. En cada ubicación de medición de potencial, la diferencia entre las dos lecturas de potencial, es el cambio de voltaje provocado por la corriente de ensayo aplicada. La diferencia en voltaje es indicada como  $\Delta V$ , con el símbolo " $\Delta$ " significando "cambio en". Donde se utiliza más de un punto de medición de potencial, como en este caso, los diferentes valores de  $\Delta V$  son promediados, para obtener los cambios de voltaje medios a través del recubrimiento, provocados por la corriente de ensayo. En el ejemplo que se muestra sería  $(0.45 + 0.47 + 0.49)/3 = 0.47$  - volt, mediante la ley de ohm, se puede determinar la resistencia efectiva del recubrimiento entero en los 4.8 km de caño; en el ejemplo es:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{0.47 \text{ v}}{0.086 \text{ a}} = 5.47 \text{ ohm}$$

La resistencia total obtenida arriba, no es la respuesta total o final a causa de que estamos interesados en una resistencia unitaria de revestimiento para propósitos comparativos.

La unidad de área más usada es el metro cuadrado (pie cuadrado). Primero se calcula la superficie de la estructura, en este caso será: la circunferencia del caño en metros, multiplicada por la longitud del caño en metros - (4827 exactos)  $\pi D L = (3.1416) (0.60\text{m}) (4827\text{m}) = 9098.70 \text{ m}^2$ . La resistencia promedio de un metro cuadrado es la resistencia efectiva a través de todo el recubrimiento multiplicado por el número total de metros cuadrados - entonces la resistencia unitaria del recubrimiento será:  $5.47 \text{ ohm} \times 9098.70 = 49769.89 \text{ ohm} \times \text{metro cuadrado}$ , el cual es el valor que buscamos.

## 5.1.- RESISTIVIDAD DEL MEDIO

Las mediciones de la resistividad eléctrica del terreno o del agua, deben realizarse como parte del reconocimiento previo al diseño de un sistema de protección catódica. Como mínimo, el dato de resistividad es necesario en ubicaciones donde los dispersores ( o ánodos simples) deben ser instalados. Tales datos permiten al diseñados determinar el tipo, tamaño y número de ánodos galvánicos de sacrificio, si se los usa, o seleccionar la combinación más favorable de tamaño de dispersor y fuente de energía de corriente continua, si va a usarse un sistema de corriente impresa.

La unidad de medición que probablemente es la más utilizada en la práctica común, es el ohm-cm. Visualícese un cubo aislado de un material al cual se va a medir su resistividad con una arista de un centímetro. La resistencia entre caras opuestas de este cubo de un centímetro será la unidad de resistividad del material en unidades de ohm-cm.

En la práctica no se hace ningún intento de aislar un cubo de un cm y medir su resistencia. En su lugar, se mide la resistencia de masas mayores de material, y se calcula la resistividad unitaria a partir de los resultados de la medición de dichas masas mayores. Esto resulta en un valor promedio de la resistividad para la masa de material medido.

En estructuras muy grandes, tales como líneas de tubería desnuda de gran largo, las mediciones de resistividad de suelo efectuadas pueden utilizarse para ayudar a localizar áreas donde la corrosión sea más severa. En general una estructura que se encuentra sometida a variaciones amplias de resistividad del medio, de punto a punto a lo largo de su superficie, estará particularmente sometida a daños de corrosión en los lugares de baja resistividad, que tienden a ser las porciones anódicas de la estructura.

Los suelos son particularmente aptos a tener variaciones de resistividad eléctrica muy amplias, dentro de distancias muy cortas. Por esta razón, la ex

tracción de una sola muestra de suelo de la superficie en la ubicación propuesta para el dispersor, y la medición de su resistividad puede ser extremadamente engañosa, a causa de que solo raramente, tal muestra representará un promedio razonable de las condiciones de resistividad de dicha ubicación.

Para obtener datos confiables, es necesario conocer la resistividad promedio del suelo en varias profundidades por debajo de la superficie. Por ejemplo, en la instalación usual del dispersor que involucra ánodos (corriente fija o galvánica) enterrados en los primeros tres metros debajo de la superficie, es muy útil poseer cifras de resistividades promedio por incrementos de 75 cm hasta profundidades de 4.5 a 7.5 m.

Si se sospechan cambios amplios en la resistividad, puede resultar deseable determinar la resistividad promedio a profundidades de 15 m, 30 m, o más, aún particularmente para dispersores grandes.

Afortunadamente es posible medir la resistividad del suelo a varias profundidades, sin necesidad de cavar en el terreno. Básicamente esto se hace como se indica en la figura No. 12.

Se clavan en el terreno 4 clavijas a una profundidad de alrededor de 30 cm, (usualmente esta profundidad, no es crítica en la determinación) a lo largo de una línea recta con una distancia entre las clavijas, igual a la profundidad debajo de la superficie a la cual se desea conocer la resistividad promedio. Se circula corriente entre las clavijas exteriores. Esta corriente provocará un cambio en el voltaje " $\Delta V$ " entre el par central de clavijas que será dependiente de la resistividad del medio que se mide. Para cualquier separación de las clavijas, se determina una resistencia efectiva en ohmios, entre el par central de clavijas, dividiendo el cambio de voltaje ( $\Delta V$ ) con la corriente de ensayo que produce el cambio, esto es:  $R = \Delta V / I$ . Si  $\Delta V$  está expresada en voltios,  $I$  debe estar en amperios. Si  $\Delta V$  está en milivolts  $I$  debe estar en miliamperes .

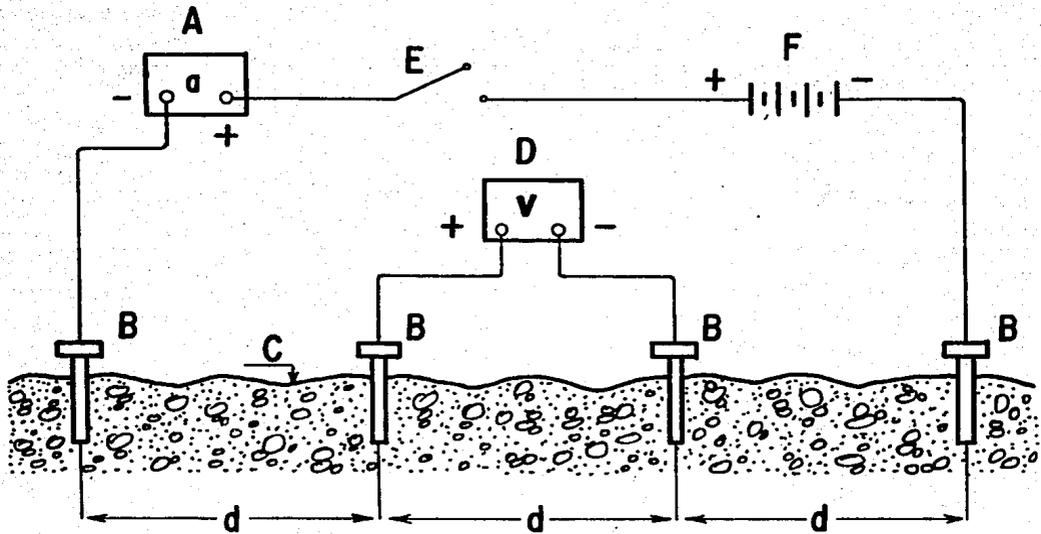


Figura No. 12

**Determinación de la resistividad del suelo.**

A) Amperímetro; B) Clavijas separadas por distancias iguales ( $d$ ) a lo largo de una línea recta; C) superficie de la tierra; D) voltímetro; E) interruptor; F) batería, con voltaje suficiente para brindar una cantidad significativa de corriente para los instrumentos.

Para convertir el valor medido de la resistencia a la resistividad del suelo, debe multiplicarse por un factor. Para cualquier separación de clavijas, la separación dada en pies se multiplica por la constante 191.2.

Resistividad :  $\rho = 2\pi d R$  (d en cm);  $\rho = 191.2 d R$  (d en ft) siendo d = distancia entre electrodos o clavijas.

Como ejemplo, supongamos que en una ubicación particular los pasadores, (clavijas) están separados por 5 pies para un ensayo de resistividad del suelo; entonces se pasa una corriente continua de 500 miliamp entre los pasadores exteriores, que provoca un cambio de voltaje de 50 milivolt a 460 milivolt lo cual es un  $\Delta V = 410$  milivoltios, cuando la corriente es conectada y desconectada. El valor de la resistencia en ohmios es entonces  $410 \text{ mV} / 500 \text{ mA} = 0.82 \text{ ohm}$ . El factor para una separación de 5 pies es:  $191.2 \times 5 = 956$ ; por lo que la resistividad del suelo es  $0.82 \times 956 = 784 \text{ ohm-cm}$ .

Aunque según se describe, la medición de resistencia puede efectuarse con datos separados de voltaje y corriente se dispone comercialmente de instrumentos que leen directamente en ohmios.

Como guía para el significado de los valores de resistividad puede usarse la siguiente tabla No.2, como una indicación grosera.

Los valores encontrados en la práctica, varían de menos de 20 ohm-cm -- para agua de mar caliente a millones de ohm-cm para algunos suelos y rocas. En zonas susceptibles a congelación, debe saberse que cuando el suelo se congela, su resistividad aumenta.

Como guía general para interpretar una serie de determinaciones de resistividad de suelos efectuadas por el método de los cuatro puntos ya mencionado, supongamos que se han tomado los datos de la tabla siguiente:

Tabla No. 2

## SIGNIFICADO DE LOS VALORES DE RESISTIVIDAD

OHM- CENTIMETRO	DESCRIPCION
Debajo de 500	Muy corrosivo
500 a 1 000	Corrosivo
1 000 a 2 000	Moderadamente corrosivo
2 000 a 10 000	Suavemente corrosivo
Más de 10 000	progresivamente, menos corrosivo

Separación de clavijas (m)	Resistividad (ohm-cm)
0.75	500
1.50	1,500
2.25	3,000
3.00	6,000

(ejemplo 1). Estos datos muestran progresivamente, resistividades más altas con la profundidad. Los valores reales a profundidades mayores, son -- aún más grandes que los valores indicados; esto es a causa de que en el método de ensayo de los 4 puntos, la medición está abarcando, en efecto una masa de tierra con forma de medio cilindro, con el lado plano del mismo en la superficie de la tierra y el radio de este medio cilindro, igual al espacio utilizado entre clavijas. Esto se demuestra en la figura No. 13.

Como se muestra en la figura: cuando vamos de una medición de 75 a una de 150 cm, esta última abarca un volumen mayor de terreno que abarca en sí -- misma la medición de los 75 cm ya que ocupa desde la superficie hasta la línea de 75 cm y de esta hasta la de 150 por lo que se desprende que la resistividad del terreno entre los 75 y 150 cm de profundidad debe ser mayor de 15000 ohm-cm para que consecuentemente de un promedio reportado en la tabla de 15000 ohm-cm a 150 cm.

Este razonamiento se aplica a las siguientes lecturas de la tabla.

(ejemplo 2). Supongamos que en otra ubicación se obtiene una serie de datos de resistividad del suelo como los de la tabla siguiente:

Separación de clavijas (m)	Resistividad (ohm-cm)
0.75	2 500
1.50	2 000
2.25	1 500
3.00	1 000

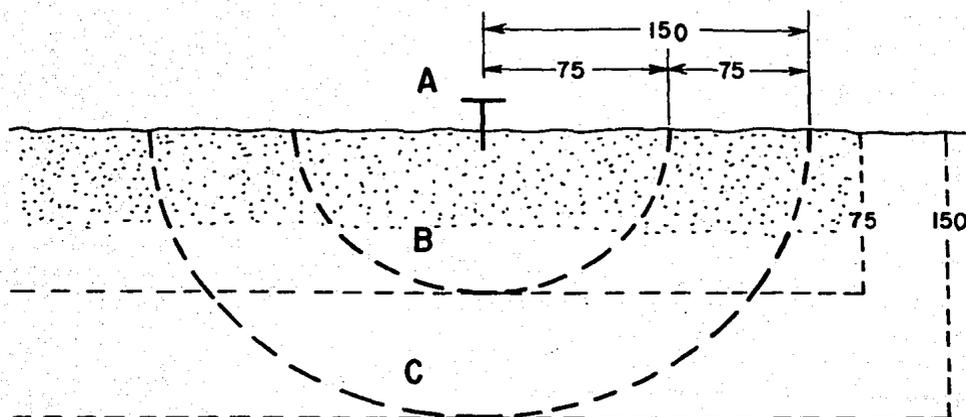


Figura No. 13

Efecto del incremento de la resistividad respecto de la profundidad en el método de 4 puntos.

A) electrodo temporario; B) masa de terreno afectado por la lectura a 75 cm de espaciamento (profundidad); C) masa de terreno afectado por la lectura a 150 cm.

En este caso, las lecturas muestran progresivamente resistividades más bajas respecto al incremento de la profundidad; aquí, por las razones dadas para los datos del ejemplo 1, las resistividades reales en cada profundidad más baja, son menores que los valores mostrados. En general, lecturas que muestran resistividades progresivamente más bajas con la profundidad, son más favorables al comportamiento de ánodos ya sean galvánicos o de sistema de corriente impresa.

#### Condiciones Locales que afectan el Diseño.-

Durante los reconocimientos de protección catódica deben hacerse observaciones, con respecto a las condiciones locales que pueden tener importancia en el diseño de la protección seleccionada finalmente; éstas incluyen lo siguiente:

- 1.- Disponibilidad de corriente eléctrica en el caso de sistemas de protección por corriente impresa.
- 2.- Ubicaciones adecuadas para instalaciones de protección catódica (sometidas a una resistividad satisfactoria del suelo), que serán accesibles para mantenimiento e inspecciones de rutina y las cuales no estén sometidas a construcción u otras actividades que pudieran convertir el sitio en insostenible, dentro del período de vida estimado de la instalación.
- 3.- Presencia de estructuras metálicas aparte de la que es objeto de la protección, las cuales podrían ser afectadas por el sistema en operación.
- 4.- Presencia de sistemas de protección catódica cercanos en otras estructuras, las cuales pueden tener algún efecto en la estructura a proteger.
- 5.- Presencia de fuentes de corriente continua vagabunda, tales como ---

sistemas de corriente continua para ferrocarriles.

6.- Condiciones ambientales irregulares tales como, descarga de residuos ácidos de las operaciones de fábricas locales.

## CAPITULO 6

## REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS

Para que pueda hacerse el trabajo necesario de reconocimiento de la corrosión, antes de la aplicación de la protección catódica y para que puedan llevarse a cabo, ensayos de comportamiento para los sistemas acabados, se necesita un equipo especializado así como del conocimiento de su uso. El equipo básico, incluye lo siguiente:

1.- Voltímetros y amperímetros sensibles para corriente continua. Para medir los potenciales de protección al efectuar los ensayos de resistividad, la medición del flujo de corriente en las estructuras y otros ensayos que se requieran.

Aunque pueden utilizarse instrumentos separados, se han desarrollado instrumentos combinados que se encuentran disponibles comercialmente para estos propósitos; estos instrumentos incorporan circuitos de amperímetro y voltímetro que poseen características diseñadas especialmente para trabajo de ensayo de protección catódica y dispuestos de tal forma de permitir una rápida selección del circuito de ensayo deseado. Tal instrumento se conoce con el nombre de "multicombinado".

2.- Electrodo de referencia adecuados, tales como el de  $\text{Cu-CuSO}_4$  que pueden obtenerse a través de proveedores de instrumentos, o construirse fácilmente.

3.- Localizador de tuberías y cables; es particularmente útil cuando se trabaja en estructuras donde es necesario el rastreo de las mismas (conductores enterrados).

4.- Un multímetro (miliamp, volt, ohm) para corrientes alterna así como continua, útil para trabajos de mantenimiento en instalaciones de protección - catódica por medio de corriente impresa, y para cuestiones generales de ensayo.

5.- Voltímetros registradores de corriente continua en el caso de esperarse potenciales variables estructura-suelo como resultado de un flujo de corriente vagabunda en el terreno. Los registradores utilizan energía eléctrica de 120 volt o pueden ser provistos de su propia fuente de energía para su funcionamiento donde así se requiera.

Para usos generales, son deseables los instrumentos de escala amplia. - Los rangos de escala desde 1 o 2 milivolt hasta 200 mV son útiles para la medición del flujo de corriente en estructuras, registrando la caída de voltaje a través de una sección de resistencia conocida tal como una longitud de una línea de tubería enterrada, o a través de una derivación (shunt) por la medición de la caída de voltaje a través del mismo. Los rangos de la escala que abarcan de 1 a 10 ó más voltios, son adecuados para la medición de cantidades como: el potencial estructura-suelo y gradientes de voltaje en la tierra, resultantes del flujo de corrientes vagabundas en el terreno.

6.- Donde deban efectuarse muchas mediciones de resistividad del terreno, alguno de los diferentes tipos de instrumentos de ensayo de resistividad de suelos de forma directa, será de mucha utilidad economizando tiempo en los ensayos.

7.- Cables de puente, cortos de alambre aislado, para interconexión de instrumentos.

También al menos dos carreteles manuales con aproximadamente 150 m de alambre de ensayo, aislado eléctricamente.

Herramientas manuales, las necesarias en una caja de herramientas.

El equipo descrito en términos generales se encuentra disponible a través de los proveedores de equipos de protección catódica. Las selecciones -- específicas dependerán de los requerimientos particulares del programa de ensayo a llevar a cabo. A medida que los requerimientos lo exijan pueden agregarse elementos adicionales.

Por lo que respecta a los equipos, éstos son muy sensibles y delicados por lo que deben ser manejados cuidadosamente, dado que el uso brusco puede -- causar desperfectos a los aparatos o lecturas incorrectas.

La interpretación de las lecturas de los instrumentos y el uso adecuado de los mismos se ilustra en los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1.- Se mide el potencial de un oleoducto con respecto a un -- electrodo de referencia de sulfato de cobre. La resistencia del circuito externo se supone de 2 000 ohm. Esto se desprende de la suma de la resistencia caño-tierra; la resistencia de los conductores utilizados y la resistencia de contacto, entre el electrodo de referencia y la tierra, conforme a la siguiente figura No. 14.

Usualmente, la resistencia más alta es la resistencia electrodo- tierra y es una función de la resistividad del suelo ( cuanto más alta la resistividad del suelo, más alta es la resistencia de contacto). Ahora supongamos que se emplea un voltímetro de alta sensibilidad, con una resistencia interna de 1 000 ohm/volt en el rango de un volt, para medir el potencial del caño al -- electrodo de referencia. La lectura del voltímetro es -0.62 voltios; este va lor indica que el caño no se encuentra dentro de los límites de protección, -- ya que es menos negativo que -0.85 volt (suponiendo que se utilice electrodo -- de sulfato de cobre). Sin embargo esta no es la lectura correcta ya que el va lor real se obtiene por la siguiente forma:

$$\text{Volt Verdadero} = \text{Lectura} \times \frac{\text{Resist del volt} + \text{Resist externa}}{\text{Resistencia del voltímetro}}$$

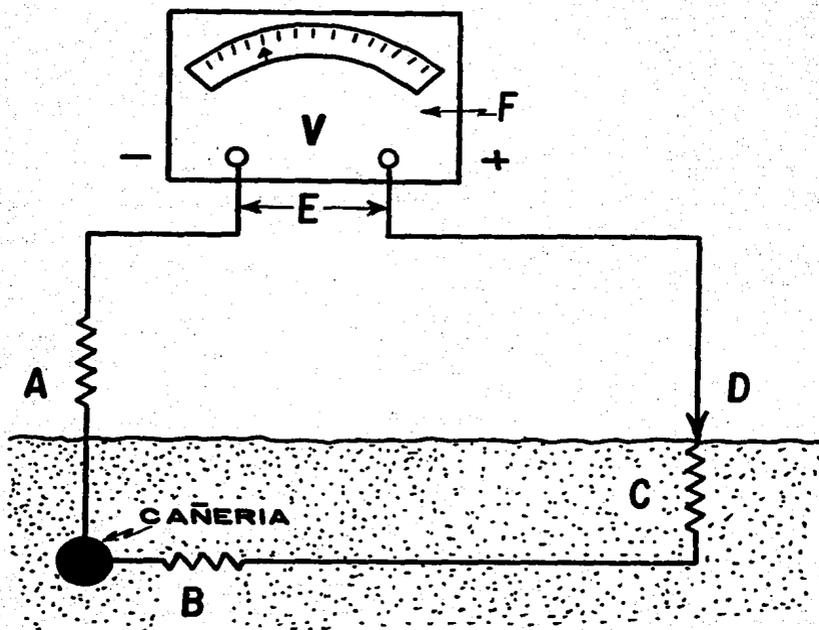


Figura No. 14

**Resistencias involucradas en mediciones de potencial de líneas de tubería.**

A) Resistencia de los conductores de ensayo; B) Resistencia de contacto entre el caño y la tierra; C) Resistencia de contacto entre el electrodo y la tierra; D) Electrodo de referencia; E) Resistencia externa, - suma de  $A + B + C$ ; F) Resistencia interna en el rango del voltímetro usado.

Por lo que para este ejemplo, el voltaje real entre el caño y el electrodo será:

$$-0.62 \times (1000 + 2\ 000) / 1000 = -1.86 \text{ volt}$$

Por lo tanto de la lectura corregida se desprende que el caño posee potencial de protección; con lo que se demuestra que el voltímetro de baja resistencia no da resultados aceptables sin corrección, lo que no sucede con aparatos de alta resistencia interna ( de 100 000 ohm/volt por ejemplo).

Pueden encontrarse situaciones donde la resistencia externa es tal alta, que aún los voltímetros de alta resistencia tendrán un mayor porcentaje de error en sus lecturas. En tales casos puede usarse el circuito del potenciómetro o potenciómetro-voltímetro ( el cual no extrae corriente del circuito -- al medir el potencial), o voltímetros electrónicos, los cuales poseen una resistencia interna extremadamente alta.

Otra circunstancia donde puede requerirse una corrección en la lectura del instrumento.

En el trabajo de protección catódica (particularmente en sistemas de líneas enterradas), puede ser necesario rastrear el flujo de corriente en las estructuras metálicas, midiendo la caída de voltaje a través de una sección de la misma estructura. Supongamos que va a medirse el flujo de corriente en un tramo de 30 m de un caño de 30 cm (12") de diámetro. De tablas la resistencia de los 30 m de caño (9.525 mm de espesor de pared) será aproximadamente -- 0.00058 ohmios. Un amperio de corriente de protección catódica fluyendo al -- través de esta resistencia causará por la ley de ohm  $E = I R$ , una caída de --- voltaje igual a  $1 \text{ amp} \times 0.00058 \text{ ohm} = 0.00058 \text{ volt}$  ó 0.58 milivoltios. Esto - requerirá un milivoltímetro de rango corto; tales instrumentos tienen una resistencia interna relativamente baja ( 1 000 ohm por voltio o menos).

Ahora supongamos que se ha preparado un conjunto de ensayo, que la resistencia del circuito externo ya ha sido medida y encontrada de 1.5 ohm (en su mayoría, resistencia de los conductores de ensayo) y que se ha obtenido -- una lectura de 1.22 milivolt (mV) en el rango de los 2 mV con resistencia de 1000 ohm/V.

Ya que dos mV = 0.002 V; la resistencia interna del instrumento es --  $0.002 \times 1000 = 2$  ohm, aplicando el factor de corrección usado anteriormente -- tenemos  $(2+1.5)/2 = 1.75$ . La caída de voltaje verdadera a través del tramo es  $1.75 \times 1.22$  milivolt = 2.14 mV (0.00214 V). El flujo de corriente en el -- tramo de 30 m de caño es por la ley de Ohm:

$$0.00214 \text{ V} / 0.00058 \text{ ohm} = 3.69 \text{ A.}$$

Los instrumentos de "Registro" se necesitan solamente cuando los potenciales continuamente variables y las corrientes, están <sup>o</sup> asociadas con el sistema metálico sobre el cual se aplica la protección catódica. Esto puede ser -- causado por corrientes continuas vagabundas resultantes de sistemas de transportes, soldadura, operaciones de minería y fuentes similares.

Ocasionalmente, en algunas áreas se inducirá una corriente continua variable en los sistemas de oleoductos como un resultado de perturbaciones en -- el campo magnético de la tierra; tales corrientes son llamadas a veces "telúricas".

En trabajos marinos, las estructuras tales como pilotajes o escolleras de acero, tendrán requerimientos variables de corriente de protección, a medida que cambia el nivel del mar; los registradores pueden ser útiles para -- evaluar este tipo de situaciones.

Los registradores para protección catódica pueden encontrarse con rangos de hasta 100 V a escala completa. Pueden ser, auto energizados (baterías o mecanismo a cuerda) de manera que el dispositivo de avance del gráfico pue

de ser utilizado donde no se dispone de corriente continua ordinaria.

Con intervalos dentro de los límites indicados, pueden ser utilizados - para: (1) medir el flujo de corriente en una estructura (por el método de la caída de voltaje) usando los rangos de milivolt; (2) medir la corriente continua (tales como el rendimiento de rectificadores, ánodos galvánicos o bate---rías) utilizando derivaciones apropiadas y rangos de milivolt concordantes, - (3) medir potenciales entre la estructura bajo estudio y su ambiente, utili--zando un electrodo de referencia apropiado, o midiendo potenciales entre es--tructuras, y (4) medir gradientes de potencial en la tierra causados por co--rriente vagabundas variables (por el registro de la caída de voltaje entre --electrodos adecuados).

## CAPITULO 7

## FACTORES QUE AFECTAN EL DISEÑO DE LA PROTECCION CATODICA.

Debe considerarse un número de cosas antes que se seleccione un sistema de protección para cualquier proyecto. A continuación se discuten algunos de los puntos más importantes.

## Requerimiento Total de Corriente.-

Debe conocerse la cantidad total de corriente necesaria para el proyecto de protección. Esto puede ser determinado por un ensayo de corriente usando una instalación temporaria. Si el requerimiento de corriente para la instalación, es bajo (hasta 1.5 - 2 A) la mejor elección pueden ser los ánodos -- galvánicos; mientras que grandes cantidades de corriente pueden suministrarse económicamente con sistemas de corriente impresa. Una excepción importante -- se encuentra en los trabajos marinos donde se usan ánodos galvánicos para la -- protección de estructuras tales como: muelles, plataformas, cascos de barcos, etc. para suministrar cantidades muy grandes de corriente.

Aunque se necesita un ensayo real de requerimiento de corriente para -- aplicaciones específicas de protección, puede utilizarse la tabla No. 3 para -- tener una idea de la cantidad de corriente de ensayo probable.

Tómese en cuenta que la tabla 3, no debe usarse para propósitos de di-- seño, ya que todos los valores de corriente se encuentran afectados de varia-- ciones que dependen de las condiciones ambientales reales.

## Variaciones en el Ambiente.-

Referente a suelos, éstas incluyen variaciones desde suelos pesados --

Tabla No. 3

## CANTIDAD DE CORRIENTE DE ENSAYO PROBABLE.

CONDICIONES	CORRIENTE REQUERIDA mA/m <sup>2</sup>
Acero desnudo en agua de mar violenta	107 a 162
Acero desnudo en agua de mar quieta	53 a 87
Acero desnudo en tierra	10 a 33
Acero recubierto pobremente en tierra o agua.	1.1
Acero bien rec. en tierra o agua	0.032
Acero muy bien rec. en tierra o agua	0.0032 o menos.

pobremente aereados (poco acceso de oxígeno a la superficie protegida) hasta aquellos que son flojos, arenosos y bien aereados. Los metales que se encuentran en suelos pobremente aereados, tienden a ser relativamente fáciles de polarizar. Puede necesitarse más corriente para polarizar una estructura en un suelo que tenga fácil acceso de oxígeno a su superficie.

Las condiciones ácidas del suelo pueden también hacer más difícil de alcanzar la polarización. Tanto el oxígeno como la condición ácida, tienden a ejercer un efecto depolarizante, por la eliminación de hidrógeno de la película de polarización que se forma por el proceso mismo de la protección catódica, sobre la superficie metálica.

En el agua, la magnitud del movimiento del agua puede tener un efecto pronunciado. Las estructuras ubicadas en agua tranquila tienden a tomar el mínimo de corriente para su protección. Las aguas violentas, causan un efecto mecánico de depolarización por el propio rozamiento del agua en movimiento, o cualquier otro líquido de que se trate; en el caso del agua es muy fácil que en forma turbulenta se encuentre muy aereada y tenga así un mayor efecto depolarizante.

Deben conocerse las variaciones de la resistividad eléctrica del ambiente. Donde los demás factores lo permiten los suelos con más baja resistividad, son los más adecuados para la ubicación de ánodos ya sean galvánicos, o para sistemas de corriente impresa con rectificadores.

#### Recubrimientos Protectores.-

Si la estructura a proteger catódicamente se encuentra recubierta, debe conocerse su tipo y su condición; es importante conocer si el recubrimiento tiene o no estabilidad; esto quiere decir que sea capaz o no de mantener un alto grado de resistencia eléctrica por un largo tiempo y con un mínimo deterioro del mismo.

La medición de la resistencia a la tierra de una estructura recubierta inmediatamente después de su instalación, puede ser engañosa; particularmente en los suelos, las mediciones efectuadas antes de que el relleno se haya asentado alrededor de la estructura y se haya saturado completamente de agua, puede indicar una resistencia mucho mayor que la que resultará luego que las condiciones se hayan estabilizado.

### 7.1.- ESCUDO ELECTRICO.

Donde un sistema subterráneo que se debe proteger, involucra grupos de componentes metálicos muy juntos (tales como conductos subterráneos o conjuntos de cables), puede producirse un efecto de escudo. La corriente de una fuente remota de protección catódica puede alcanzar fácilmente, las capas más externas pero relativamente poca corriente (y quizá una cantidad insuficiente para una buena protección) puede alcanzar los componentes internos del conjunto a proteger. La capa exterior de estructuras comprende entonces un escudo eléctrico. Tales condiciones pueden requerir la colocación de ánodos de protección catódica dentro del área escudada para forzar el flujo de corriente de protección donde sea necesario.

#### Consideraciones Económicas.-

La primera consideración es si se justifican o no los gastos de un sistema de protección catódica. En algunas circunstancias la mejor alternativa podría ser el reemplazo de la estructura. En otros casos el tiempo de servicio de la estructura puede ser demasiado corto para justificar el costo de la protección a menos que sea necesario por condiciones peligrosas.

Si la protección catódica es una solución económica al problema de la corrosión, el tipo seleccionado debe ser tal que presente el mínimo costo. Además del costo inicial de diseño e instalación del sistema, debe considerarse -

el costo de energía ( si se requiere) y el costo de mantenimiento del sistema como lo son: inspecciones, reparaciones y reemplazos.

Metal que debe protegerse.-

Aunque el acero no es afectado adversamente por un grado razonable de sobreprotección, ciertos metales pueden ser protegidos catódicamente y dañarse si el grado de protección es demasiado alto. Los procesos de protección -- catódica crean un ambiente alcalino en la superficie de la estructura protegida. En el caso del aluminio si se mantienen potenciales de protección demasiado altos, el ambiente puede volverse tan alcalino que el metal se corroerá más rápido que si no estuviera protegido catódicamente; este tipo de ataque es llamado "Corrosión Catódica". Si se utiliza protección catódica sobre el aluminio, se sugiere que los potenciales sean mantenidos dentro del rango de -1.0 a -1.1 V, con relación a un electrodo de referencia de sulfato de cobre, sin exceder de -1.2 volt en ningún caso.

El plomo también tiende a ser sensible al ataque alcalino, pero no hasta el mismo grado que el aluminio. La experiencia ha indicado que mientras se mantenga la protección catódica, no es probable ningún ataque serio; pero si se interrumpe la corriente de protección por un período prolongado, el ambiente alcalino formado en la superficie puede causar problemas.

Requerimiento de Duración.-

Debe conocerse la vida útil esperada de la estructura a proteger. Donde resulte práctico hacerlo así, debe coordinarse la vida útil del sistema de protección con el de la estructura a proteger. Específicamente no vale la pena diseñar un sistema de protección que dure más de lo necesario ya que el costo adicional será dinero perdido.

## Posibilidades de Mantenimiento.-

El tipo de sistema de protección catódica puede ser influido por la disponibilidad y confiabilidad de los medios y personal de mantenimiento. Si --- existe alguna razón para creer que no serán adecuados, la mejor elección puede ser la del diseño más simple de protección catódica a prueba de fallas, aún - cuando el costo inicial de instalación es mayor, esto bajo ciertas circunstancias tiende a favorecer los ánodos galvánicos contra los sistemas de corriente impresa que normalmente requieren más atención de mantenimiento. Donde no se dispone de buena capacidad de mantenimiento, no es raro encontrar sistema de - corriente impresa que han dejado de brindar la corriente de protección por una u otra causa ( tales como fusibles quemados, fallas en los dispersores, corte - accidental de un cable, etc) y han permanecido en dicho estado durante perío-- dos prolongados ( a veces años). Durante estos períodos no se obtiene ningún beneficio de la instalación y sin embargo si pueden producirse como sucede ge-- neralmente, daños por corrosión. Por supuesto que también los sistemas de pro-- tección por medio de ánodos galvánicos pueden dañarse, sin embargo si está pre-- visto en el diseño, puede disponerse de manera que los daños que se generen, - afecten solamente a una pequeña parte del sistema de protección sin que neces-- riamente se pierdan los potenciales de protección en otros sectores. Para - áreas de estructuras relativamente grandes es más fácil que el daño a un siste-- ma de corriente fija provoque una pérdida completa de protección.

### 7.2.- EFECTOS DE LAS CORRIENTES VAGABUNDAS.

Antes de preparar un sistema de protección catódica debe saberse si - existen o no corrientes continuas vagabundas. Las corrientes que afectarán -- más severamente la estructura a proteger, son aquéllas de una magnitud sustan-- cial, que varían continuamente en cantidad. Estas incluyen corrientes vagabun-- das de sistemas ferroviarios de corriente continua, operaciones mineras que em-- plean corriente continua, operaciones de soldadura con corriente continua, -- y otras fuentes similares.

Dependiendo de la severidad del efecto de corriente vagabunda, la magnitud de los potenciales anódicos (en áreas donde se está descargando corriente "vagabunda" de la estructura afectada y por lo tanto, causando corrosión), --- sea tal que ni pueda ser contrarrestada fácilmente con el sistema usual de protección catódica. Esto es particularmente cierto en áreas de descarga de corriente en las cuales, la estructura puede ser positiva en varios voltios con respecto a su ambiente. Tales condiciones necesitan técnicas especiales de control para corrientes vagabundas, que involucran uniones metálicas de la estructura afectada a la fuente de la corriente dañosa u otros medios de eliminación de esta corriente sin dañar la estructura afectada.

Las fuentes de corriente vagabunda descritas anteriormente pueden resultar en una corrosión muy rápida, usualmente mucho más severa que la corrosión provocada por otros factores ambientales; otro tipo de corriente vagabunda que es variable en su naturaleza ocurre durante los períodos de actividad de las tormentas magnéticas; cuando se producen estas variaciones se inducen los potenciales en el caño o cable en una forma similar a como se inducen los potenciales en un generador eléctrico.

Las corrientes vagabundas variables provocadas por el hombre demostrarán usualmente algún modelo ( como se muestra por los registros de los instrumentos de medición), mostrando las horas "pico" en los sistemas de tránsito, cambios de turno en las operaciones de minería, etc. Sin embargo las corrientes vagabundas variables resultantes de perturbaciones magnéticas, es muy difícil que muestren un modelo determinado; además pueden afectar un área dada por algún tiempo y no reaparecer nuevamente durante un período muy largo, aunque a veces son intensas durante períodos cortos. La corriente vagabunda telúrica resultante de la inducción magnética, raramente producirá tanta corrosión como la corriente vagabunda incontrolada resultante de la actividad humana, a causa de que son de una duración relativamente corta y normalmente no se concentran durante tiempo apreciable sobre un área dada.

Además de los tipos descritos de corriente vagabunda variable puede encontrarse corriente vagabunda "invariable", provocada por ejemplo por un sistema de protección catódica de corriente fija sobre una estructura adyacente pero separada eléctricamente, si el dispensor se encuentra cerca de la estructura no protegida. Bajo tal condición, la estructura afectada penetra el campo de gradiente de potencial alrededor del dispensor, en el cual el suelo es positivo con respecto a la estructura protegida. Esta diferencia positiva de potencial provoca que la corriente fluya dentro de esa parte de la estructura -- afectada en el campo del gradiente, a causa de que no existe ningún paso metálico por el cual la corriente pueda regresar al dispensor del cual se origina la corriente vagabunda, debe descargar al ambiente desde aquellas partes de la estructura afectada que son exteriores al campo de gradiente de potencial del dispensor. Esta situación puede involucrar la instalación de uniones metálicas entre la estructura afectada y la estructura a la cual está conectado el sistema atacante de corriente impresa. En los casos severos puede ser necesario retirar el dispensor que provoca la condición de corriente vagabunda.

Cuando se planifica un sistema de protección catódica, los dispensores -- deben estar colocados de manera que las corrientes vagabundas provocadas por -- ellos no serán captadas por otras estructuras dañándolas. Esto resulta particularmente importante cuando se utilizan sistemas de corriente impresa. La -- figura siguiente No. 15 ilustra las condiciones típicas de corrientes de este tipo.

#### Temperatura.-

El efecto de la temperatura sobre el diseño de la protección catódica, -- es principalmente cambiar la resistividad del ambiente. La resistividad del -- suelo y del agua normalmente decrecen a medida que aumenta la temperatura. El cambio más grande se produce en la congelación. La resistividad de suelos o -- aguas congeladas puede ser extremadamente alta comparada con los valores de la condición no congelada; por esta razón las mediciones de resistividad de mate-

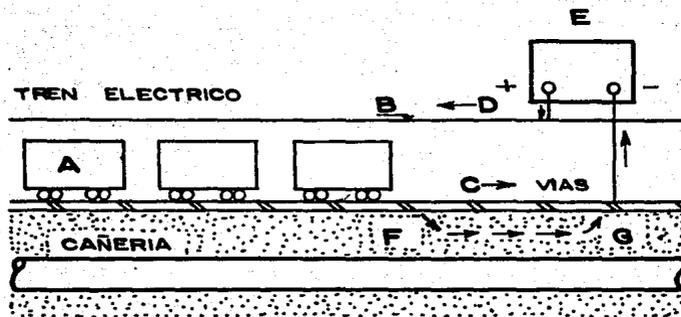


Figura No. 15 a)

**Corrosión provocada por corrientes vagabundas.**

a) Corriente vagabunda variable del sistema de tracción. A) tren con planta motriz accionada a electricidad; B) conductor elevado; C) vías, toma de retorno; D) Corriente de carga, variable; E) subestación de corriente - continua que suministra corriente al tren; F) parte de la corriente de carga de la vía a la tierra, las estructuras metálicas en el paso de la tierra del tren a la subestación, absorberán corriente como se indica y tenderán a estar protegidas catódicamente en las áreas de entrada de corriente - G) corriente que se descarga del caño a la tierra (corroyendo el caño), en la vecindad de la subestación, para retornar al terminal negativo (la toma de corriente), y completar el circuito.

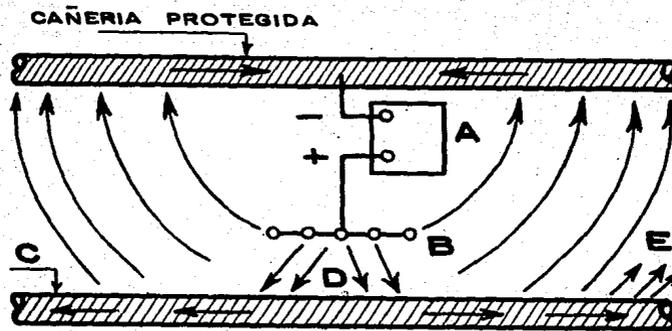


Figura No. 15 b)

Corrosión provocada por corrientes vagabundas.

b) Estado de corriente invariable de un sistema cercano de protección catódica. A) Rectificador de corriente para el sistema de protección; -  
 B) dispersor; C) Estructura separada eléctricamente del caño protegido --  
 catódicamente; D) La estructura toma corriente del dispersor en esta zona -  
 (protección); E) la corriente abandona la estructura en esta área para -  
 fluir hacia la cañería protegida y completar el circuito (corrosión).

riales congelados no tiene sentido para propósitos de diseño en protección catódica.

En trabajo marino, la resistividad del agua de mar en regiones tropicales puede ser significativamente menor, que la de la misma agua en áreas más frías.

Los dispersores deben ser instalados debajo de la profundidad de congelación en suelos o aguas donde se presente este problema.

Cuando se mide la resistividad de muestras de agua de por ejemplo, Cajas de agua de intercambiadores de calor a proteger catódicamente, la medida debe tomarse a la temperatura normal de operación de la caja de agua.

## CAPITULO 8

## ANODOS Y RECTIFICADORES.

## 8.1.- MATERIALES DE ANODOS GALVANICOS.

Los materiales adecuados para uso como ánodos galvánicos incluyen: Aluminio, magnesio y zinc.

La cantidad de energía eléctrica que puede obtenerse de un ánodo galvánico depende del equivalente electroquímico del metal utilizado ( en términos de A-h/kg), y de la eficiencia del ánodo de trabajo. Un amperio-hora es un amperio fluyendo durante una hora o cualquier combinación que sea igual a ésta - tal como medio amp fluyendo por dos horas o dos amp fluyendo por media hora, - etc.

La eficiencia de un ánodo galvánico es la cantidad de amperios-hora por kilogramo (libra), obtenida "realmente" para propósitos de protección catódica dividida por el total teórico de A-h/kg (lb) de material usado.

Los materiales de los ánodos galvánicos se encuentran sometidos a auto-corrosión la cual consume energía; esta es la razón por la cual la eficiencia es menor del 100%.

Tal como se indicó previamente, los ánodos de zinc poseen un contenido teórico de energía de 820 A-h/Kg (372 A-h/lb) y operan típicamente con una eficiencia del 95%, lo que da un rendimiento útil de 778 A-h/Kg. El potencial de trabajo de un ánodo de zinc con respecto a un electrodo de sulfato de cobre está en el orden de -1.10 volt.

Los ánodos de aluminio poseen un contenido teórico de energía de --

2965 A-h/kg (1345 A-h/lb). En años recientes se han desarrollado ánodos de aluminio para uso en agua de mar que pueden operar con una eficiencia del 95% con un rendimiento útil de aproximadamente 2817 A-h/kg. El potencial de trabajo es casi el mismo que el del zinc, aunque existen variaciones que dependen de la aleación utilizada.

Los ánodos de magnesio poseen un contenido teórico de energía de 2204 A-h/kg (1000 A-h/lb). La eficiencia varía en la densidad de corriente en términos de miliamperios por metro cuadrado (pie cuadrado) de superficie del ánodo, pero típicamente puede ser de alrededor del 50% (rendimiento útil de 1102 A-h/kg) (500 A-h/lb) con una densidad de corriente de  $323 \text{ mA/m}^2$  ( $30 \text{ mA/ft}^2$ ). Los potenciales de trabajo del ánodo con respecto al electrodo de sulfato de cobre, pueden variar aproximadamente de 0.45 V para una aleación normal de magnesio, hasta aproximadamente -1.70 V para ánodos llamados de "Potencial Alto".

Los ánodos de zinc se hacen con zinc de alta pureza con 99.99% de pureza o más, para uso en suelos. Para usos marinos pueden agregarse pequeñas cantidades de aluminio y cadmio para asegurar una máxima eficiencia. Si se utiliza zinc de menor pureza puede resentirse la eficiencia y los ánodos pueden tender a hacerse pasivos, es decir dejar de descargar cantidades útiles de corriente de protección.

Para mejorar sus características también los ánodos de aluminio pueden tener pequeñas cantidades de elementos aleados y en algunos casos también, tratamientos térmicos.

Los ánodos normales de magnesio poseen cantidades apreciables de elementos aleados; típicamente estos pueden contener; 6% de aluminio, 3% de zinc y 0.2 % de manganeso.

Los materiales anódicos son fundiciones de muchos pesos y formas como --

para satisfacer los requerimientos de diseño de la protección catódica. Pueden obtenerse datos de los tipos disponibles de los proveedores de materiales de protección catódica, (se anuncian con este mismo nombre en el directorio telefónico). Algunos pesos para ánodos típicos de magnesio se dan a continuación: 52 Kg, 7.26 Kg, 2.27 Kg, 4.08 Kg, 22.68 Kg, para diferentes dimensiones físicas.

## 8.2.- ANODOS DE CORRIENTE IMPRESA.

Los ánodos para uso con los sistemas de corriente impresa, preferiblemente deben corroerse a la velocidad practicable más baja, cuando descargan la corriente.

Mientras que puede utilizarse, caños, rieles, varillas de acero, u otro material similar de hierro o acero (chatarra) tales materiales son consumidos a una velocidad de alrededor de 9.07 Kg por A-año (20 libras por A-año) - (un amperio fluyendo continuamente durante un año).

Existe un tipo especial de material anódico hecho de hierro fundido que contiene alrededor de 14.5 % de silicio y otros elementos aleados, el cual se consume a una velocidad muy baja (unas pocas décimas de kg por amp-año, encontrándose este material comercialmente en varios tamaños para satisfacer los requerimientos de diseño.

Otro material anódico disponible comercialmente y ampliamente usado, es el carbón o grafito (una forma de carbón). Los ánodos de este material se consumen también a velocidades muy bajas (medio Kg o menos por A-año en instalaciones prácticas). (Se dispone también comercialmente de varias formas y tamaños).

Para el trabajo marino se ha conseguido un éxito considerable con las aleaciones de plomo-plata. Aunque el plomo puede consumirse en el orden de 31.7 Kg/A-año (70 lb/A-año), las aleaciones de plomo-plata formarán cuando se les utiliza de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, una película de peróxido de plomo en la superficie externa, la cual descarga corriente

del material anódico básico a una velocidad baja de consumo.

El platino trabaja muy bien como ánodo de corriente impresa, consumiéndose a una velocidad extremadamente baja. A causa de su costo, usualmente se aplica en forma de capa sobre un material menos caro, para lo cual se usa exitosamente el titanio. El titanio platinizado se utiliza en trabajo marino, - para protección de cascos de barcos y para aplicaciones que involucren las partes internas de estructuras tales como cajas de agua de condensadores, partes internas de bombas, ciertos interiores de oleoductos, etc.

### 8.3.- RECTIFICADORES COMO FUENTES DE CORRIENTE.

Los rectificadores son utilizados como una fuente de corriente continua para la mayoría de los sistemas de protección catódica de corriente impresa. Ellos son razonablemente sencillos y relativamente baratos.

Los rectificadores operan convirtiendo ( rectificando) la corriente --- alternada usual de 60 ciclos por segundo del sistema comercial de corriente eléctrica, a corriente continua como ya se describió anteriormente.

Los rectificadores operan a menos del 100% de eficiencia, significando que el rendimiento de energía de corriente continua es menor que el consumo de corriente alterna de la línea de alimentación. Los rectificadores operan a máxima eficiencia, cuando funcionan a plena carga. Donde se utilizan rectificadores grandes ( como para grandes estructuras desnudas), la capacidad del rectificador debe ser seleccionada de manera que opere cerca de la capacidad de carga plena, el efecto de reducir ya sea la producción de corriente o el voltaje está ilustrado por la siguiente figura No. 16.

Puede determinarse la eficiencia de un rectificador de protección catódica, midiendo el consumo de energía de corriente alternada con un watímetro, determinando el rendimiento de volt y amperios de corriente continua y calculando la eficiencia como sigue:

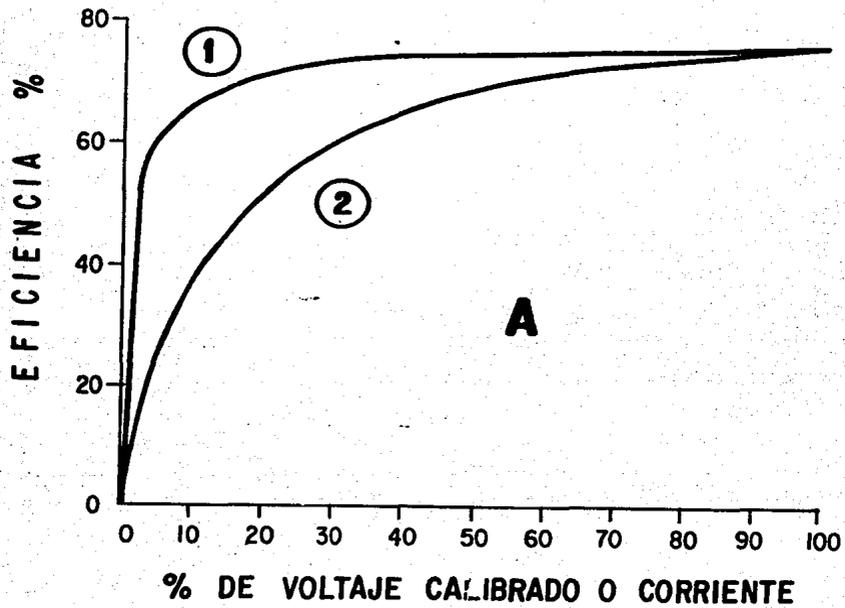


Figura No. 16 A

**Eficiencias del rectificador.**

A.- Selenio.- Curvas típicas de la eficiencia total para una unidad comercial del rectificador de selenio, conectada en puente, enfriada por aire; calibrada para un rendimiento de 60 volt, 60 amp de plena carga de corriente continua. 230 volt. Monofásica, consumo de corriente alterna.

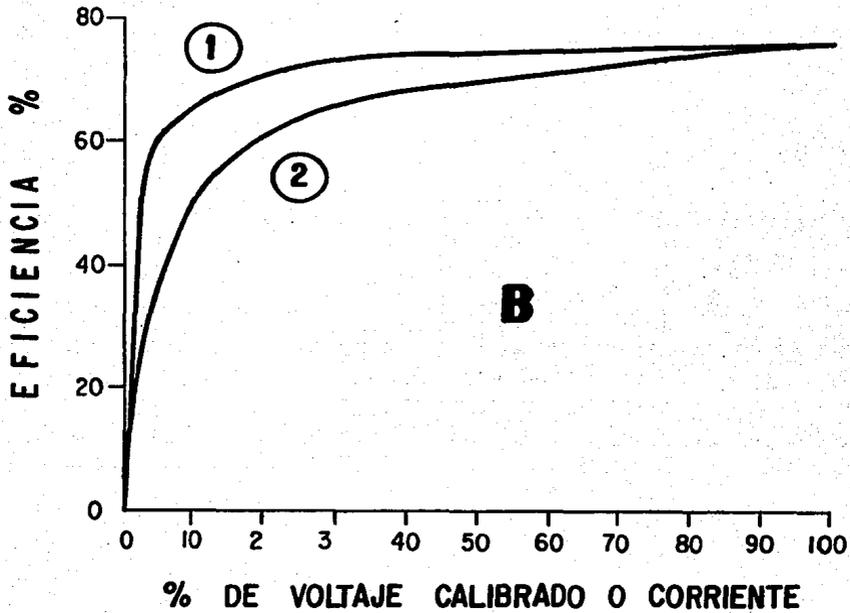


Figura No. 16 B

**Eficiencias del rectificador.**

B.- Lo mismo, para un rectificador de Silicio. 40 volt, 34 amp de plena carga de corriente continua. 230 volt, monofásica, consumo de corriente alternada. A y B. (1) Eficiencia vs % de la corriente calibrada a pleno voltaje. (2) Eficiencia vs % del voltaje calibrado a plena corriente.

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{\text{Volt C.c.} \times \text{A C.C.}}{\text{Watt C.A.}} \times 100$$

Un rectificador que opera a 20 A y 32 V de rendimiento de corriente con t $\acute{u}$ nua, tendr $\acute{a}$  un consumo de corriente alternada de 940 vatios (watt); la efi- ciencia ser $\acute{a}$ :  $(20 \times 32 \times 100) / 940 = 68\%$ .

La diferencia entre el consumo de energ $\acute{a}$  de corriente alternada y el - rendimiento de energ $\acute{a}$  de corriente continua, representa la p $\acute{e}$ rdua de energ $\acute{a}$  en el proceso de rectificaci $\acute{o}$ n. Esta p $\acute{e}$ rdua de energ $\acute{a}$  se transforma en ca- lor; a veces es necesario el enfriamiento para evitar el sobrecalentamiento - de los componentes de rectificaci $\acute{o}$ n que podr $\acute{i}$ an provocar fallas. Un m $\acute{e}$ todo - de enfriamiento usa un equipo enfriado por aire, con el gabinete dispuesto de tal manera que habr $\acute{a}$  un tiraje natural de aire a trav $\acute{e}$ s de los componentes -- del rectificador. En otro m $\acute{e}$ todo de enfriamiento, los componentes son sumergi- dos en aceite de aislaci $\acute{o}$ n el $\acute{e}$ ctrica, en un recipiente grande de acero; los elementos de rectificaci $\acute{o}$ n entregan su exceso de calor al aceite, el cual a - su vez es enfriado por radiaci $\acute{o}$ n de las superficies exteriores del recipiente mismo que puede presentar "aletas" para una mayor superficie de enfriamiento.

#### Otras fuentes de corriente.-

Ocasionalmente, donde no se dispone de corriente alternada, se necesi-- tan sistemas de protecci $\acute{o}$ n cat $\acute{o}$ dica de corriente impresa.

Donde los requerimientos de corriente son grandes, pueden ser atendidos por un motor-generador. Una pr $\acute{a}$ ctica incluye el uso de un motor accionado -- por gas natural, nafta o fuel oil para operar un alternador que produce co--- rriente alternada; esta energ $\acute{a}$  de corriente alternada es utilizada entonces para operar un rectificador convencional, el cual suministra la corriente con t $\acute{u}$ nua de protecci $\acute{o}$ n cat $\acute{o}$ dica necesaria. Las instalaciones de este tipo son -- relativamente complicadas y requieren de buenas condiciones de mantenimiento.

También pueden utilizarse generadores termoeléctricos donde no se dispone de corriente alterna. Este dispositivo hace uso del efecto que resulta --- cuando se calientan las uniones de ciertos tipos de materiales no conductores, generándose un voltaje de corriente continua. La energía producida en un empalme simple ( termocupla) es baja; se conecta entonces una cantidad de tales termocuplas para brindar la cantidad requerida de corriente; se suministra calor por medio de algún tipo de combustible gaseoso, (tal como gas natural o -- envasado). El costo de una instalación de un generador termoeléctrico es considerablemente mayor a precios corrientes, que el de un rectificador de rendimiento similar.

Otras fuentes de energía menos utilizadas incluyen baterías de servicio pesado para aplicaciones que requieren una producción de energía muy baja y -- los generadores de molino de viento en lugares donde son favorables las condiciones ambientales ( viento).

Aunque no son de uso común, las celdas de combustible pueden convertirse en una fuente excelente de corriente continua, en lugares donde no se dispone de corriente alterna. Básicamente, un elemento de una celda de combustible -- consiste en un emparedado de dos electrodos conductores porosos, con un electrolito entre ellos; un combustible gaseoso tal como el hidrógeno, es forzado a través de un electrodo (ánodo), un agente oxidante tal como oxígeno o aire -- es forzado a través del otro (cátodo). Dentro de la celda, el gas combustible y el agente oxidante reaccionan para formar agua y corriente continua, la cual es llevada a través de conductores a los electrodos porosos. Cuando se desarrollan las fuentes de energía de gas combustible deben ser adecuadas para -- conjuntos pequeños como para grandes requerimientos de corriente, para aplicaciones específicas de protección catódica.

#### Alambre y Cable.

En los sistemas de corriente impresa, todos los cables subterráneos y -- sumergidos, del terminal positivo de corriente continua del rectificador u --

otra fuente de energía, al dispersor de corriente, se encuentran a un voltaje positivo con respecto a la tierra. Por esta razón deben estar muy bien aislados; si existe alguna rotura en la aislación, la corriente se descargará -- a la tierra desde el cable; esta corriente que se descarga, corroerá el conductor hasta que logre la interrupción del paso de la corriente ( lo rompe ). Cuando esto sucede todo o parte del dispersor quedará desconectado de la - fuente de energía ( dependiendo del lugar de la rotura del cable) con lo que el sistema de protección quedará total o parcialmente fuera de operación. Para muchas aplicaciones, la práctica favorece un cable de protección catódica que utiliza aislación de polietileno la cual es adecuada para sumersión o -- entierro directo.

Los cables del terminal negativo de los sistemas de corriente fija a la estructura protegida, los alambres de los ánodos galvánicos a la estructura - protegida y los alambres conectados a la estructura protegida para propósitos de ensayo se encuentran todos bajo protección y no están sometidos a descar-- gas de corriente ( corrosión), si se producen roturas en su aislación. Sin em-- bargo es una buena práctica utilizar alambres y cables bien aislados en tales aplicaciones para un consumo innecesario de la corriente de protección catódi- ca. El empalme entre un alambre de cobre desnudo y una estructura de acero, puede crear innecesariamente una celda de corrosión de metales disímiles. Don- de tales empalmes son necesarios, se requiere una aislación del ambiente - bien hecha y de alta calidad para evitar la corrosión galvánica de esta zona.

#### Relleno del Anodo.-

Se utiliza relleno químico para rodear los ánodos galvánicos en la mayo- ría de los casos cuando se encuentran enterrados; esto representa varias ven- tajas: el relleno especial brinda un ambiente uniforme para rodear el ánodo - con lo que se promueve un consumo anódico uniforme y una máxima eficiencia, - aísla el material anódico del contacto directo con la tierra lo que es desea- ble para evitar la acción de los compuestos químicos del suelo que podrían -

de otra manera provocar la formación de películas pasivas de alta resistencia en la superficie del ánodo y evitar la descarga de cantidades útiles de corriente. Tiene asimismo el relleno una resistividad eléctrica baja, así que cuando el terreno circundante es de mayor resistividad, permite una resistencia ánodo-tierra más baja y un mayor rendimiento de la corriente.

Un material típico de relleno utilizado con los ánodos de magnesio consiste en 75% de yeso hidratado, 20% de bentonita y 5% de sulfato de sodio.

Con los ánodos de zinc, funciona bien una mezcla de 50% de sulfato de calcio ( yeso "parís") y 50 % de bentonita. Estas mezclas de relleno se encuentran disponibles en el comercio.

Para los sistemas anódicos de corriente impresa en la tierra, la práctica común es usar un relleno de coque o grafito para rodear los ánodos. Existen dos ventajas: una es que, el grafito o coque adecuado, poseen una resistividad eléctrica baja ( más baja que la mayoría de los suelos) y ayuda a producir baja resistencia entre el ánodo y la tierra. La segunda ventaja es que si el coque o grafito, se encuentra empaquetado sólidamente alrededor del ánodo dispersor de corriente fija, la mayor parte de la corriente descargada por el ánodo pasa del ánodo al relleno a través del contacto directo entre el material del ánodo y las partículas de relleno; esto reduce la velocidad de consumo del ánodo. Sin embargo, la corriente que descarga en la superficie exterior de la columna de relleno si consumirá dicho material de relleno a una baja velocidad. El resultado neto para esta práctica es una vida más larga y una resistencia menor de la que sería en el caso de no utilizar el relleno.

Los distribuidores comerciales disponen de materiales de relleno o de coque o grafito. El coque debe ser ya sea de carbón o de petróleo calcinado (tratado térmicamente), el coque de petróleo no calcinado puede tener una resistividad eléctrica alta con lo que no es adecuado para este uso como relleno de dispersores.

Generalmente no se utilizan rellenos para los ánodos ya sean galvánicos o de corriente impresa en aplicaciones de inmersión en agua.

#### Miscelánea.-

Las conexiones eléctricas, particularmente en los sistemas de ánodos galvánicos, deben ser de una resistencia eléctrica muy baja, para permitir un rendimiento máximo de corriente. Todas las conexiones subterráneas o sumergidas deben estar soldadas, para una resistencia baja permanente. Esto también es una buena práctica para los sistemas de corriente impresa en las conexiones de alambres de ensayo a las estructuras protegidas.

Los metales expuestos en las conexiones enterradas o subterráneas entre los ánodos de corriente impresa y los cables a la fuente de energía, deben estar aislados perfectamente para evitar la descarga de corriente y la consiguiente corrosión.

Se dispone de cajas cerradas adecuadas para los terminales de los alambres de ensayo de las estructuras protegidas para facilitar ensayos periódicos del grado de protección alcanzada.

Los proveedores comerciales brindan información detallada de los diferentes componentes en instalaciones de protección catódica.

#### 8.4.- DISEÑO DE LECHOS DE TIERRA.

Es necesario un conocimiento de los principios del diseño de los dispersores de manera que: 1) puedan diseñarse las instalaciones de ánodos galvánicos para tener una resistencia suficientemente baja como para producir la corriente deseada y 2) los dispersores de corriente impresa puedan ser diseñados para tener una resistencia que le permita el rendimiento requerido de co-

riente con un voltaje fijo dentro del suministro de corriente continua a utilizarse.

Se dispone de varias fórmulas para determinar las resistencias de los ánodos. Se dispone o pueden desarrollarse gráficos basados en dichas fórmulas para satisfacer los requerimientos específicos. La siguiente es una fórmula que ha sido utilizada ampliamente para la resistencia a la tierra de ánodos individuales verticales.

$$R = \frac{0.00521 P}{L} \times (2.3 \text{ Log } \frac{8 L}{d} - 1)$$

Donde: R = Resistencia del ánodo a tierra en ohmios  
 P = Resistividad efectiva del suelo en ohm-cm  
 L = Longitud del ánodo en pies  
 d = Diámetro del ánodo en pies

Fórmula basada en las desarrolladas por H. B. Dwight.<sup>(12)</sup>

Si se trabaja, por ejemplo con ánodos de 3" de diámetro por 60" de largo podemos calcular la resistencia a la tierra en un suelo de digamos 1000 ohm-cm. De la fórmula P = 1000; L = 5; d= 0.25, entonces sustituyendo directamente tenemos:

$$R = \frac{0.00521 \times 1000}{5} (2.3 \log \frac{8 \times 5}{0.25} - 1) = 4.24 \text{ ohm}$$

Puede obtenerse la resistencia de un ánodo del mismo tamaño, en suelo de cualquier otra resistividad, por proporción directa; por ejemplo, si la resistividad efectiva del suelo medida fuera de 2220 ohm-cm, la resistencia -

de un ánodo individual vertical del tamaño utilizado anteriormente sería:

$$4.24 \times \frac{2220}{1000} = 9.41 \text{ ohm.}$$

ó si el suelo fuera de 675 ohm-cm;  $4.24 \times 675/1000 = 2.86 \text{ ohm.}$

Con esta misma fórmula se demuestra que para un peso dado de material anódico, un ánodo largo y delgado tiene menor resistencia a la tierra que un ánodo del mismo peso pero corto y grueso. La resistencia a la tierra de un ánodo de 3 x 60" en un suelo de 1000 ohm-cm se vió es de 4.24; el mismo cálculo para un ánodo de 6 x 15" ( el mismo peso) daría casi dos veces tanta resistencia como el ánodo de 3 x 60" ( 8.30 ohm), con lo que se demuestra porque el peso del ánodo se distribuye en forma de barras esbeltas relativamente -- largas para mantener baja la resistencia a la tierra, lo cual es particularmente útil en los ambientes de resistividad más alta.

En ambientes de resistividad muy baja, tal como el agua de mar, los ánodos cortos y gruesos tendrán una resistencia suficientemente baja para el medio y son preferidos en muchos casos.

Esta fórmula trabaja bien para el caso de un ánodo vertical individual, sin embargo, si la resistencia de un ánodo individual no es lo suficientemente baja como para permitir la descarga de la cantidad deseada de corriente, deben usarse ánodos adicionales y conectarse por medio de un cable colector.

En los circuitos eléctricos ordinarios, tres resistores combinados de 6 ohm deben tener una resistencia combinada de  $6/3 = 2 \text{ ohm.}$  Esta analogía -- no se aplica a ánodos de lechos de tierra. La resistencia combinada realmente será más alta a causa de que la corriente de los ánodos adyacentes pasa al través de la misma masa de tierra provocando un efecto mutuo de interferencia.

La fórmula siguiente derivada de la fórmula de Sunde, <sup>(2)</sup> da la resistencia de cualquier número de ánodos verticales para cualquier separación seleccionada a lo largo de una línea recta.

$$R = \frac{0.00521 P}{N L} (2.3 \log \frac{8 L}{d} - 1) + \left( \frac{2 L}{S} \times 2.3 \log 0.656 N \right)$$

Donde: R = Resistencia a la tierra en ohm del grupo de ánodos verticales.

P = Resistividad efectiva del suelo ohm-cm.

N = Número de ánodos en paralelo

L = Longitud de ánodo en pies

d = Diámetro del ánodo en pies

S = Separación de los ánodos en piés.

Para ilustrar el uso de la fórmula, podemos calcular, la resistencia a la tierra de diez ánodos de 3 x 60" conectados en paralelo a lo largo de una línea recta con una separación de quince piés. La resistencia de un ánodo individual de este tamaño sería como se vió anteriormente, 4.24 ohm. La menor resistencia que podemos esperar de 10 ánodos en paralelo sería 4.24 /10 =0.424 Veamos, utilizando la fórmula, el efecto de la separación de los ánodos.

$$R = \frac{0.00521 \times 1000}{10 \times 5} (2.3 \log \frac{8 \times 5}{0.25} - 1) + \left( \frac{2 \times 5}{15} \times 2.3 \log 0.659 \times 10 \right)$$

$$R = 0.1042 ( 5.069 - 1 + 1.253 ) = 0.555 \text{ ohm.}$$

Esto es aproximadamente 31 % más que la mínima resistencia posible resultante de la separación de 15 piés. Puede disminuirse el efecto, utilizando una separación de ánodos extremadamente amplia, pero hay que tener en cuenta que además de los requerimientos de espacio muy grandes, la resistencia --

de los cables más largos que conectan a los ánodos, puede hacerse significativa.

A la resistencia calculada a la tierra de los ánodos de un dispersor, debe agregarse la resistencia del alambre o cable; esta será la resistencia del cable entre la estructura protegida y el punto donde éste se conecta al cable colector de ánodos ( el cable que conecta los ánodos) más la resistencia de - la mitad de la longitud del cable colector. El uso de la mitad de la longi-- tud del cable colector, toma en cuenta el hecho de que la corriente en el cable colector disminuye a medida que cada ánodo de trabajo "extrae" su parte.

#### Desarrollo de Curvas de Diseño.

Como una alternativa para efectuar una serie completa de cálculos de la resistencia ánodo-tierra cada vez que se diseña un dispersor, pueden preparar se gráficos para los tamaños de ánodos que se utilizan comúnmente sobre un -- sistema específico; tales gráficos son particularmente útiles donde se dise-- ñan numerosos dispersores.

Las siguientes dos figuras 17 y 18 ilustran gráficos típicos para áno-- dos verticales en dispersores de corriente impresa y para ánodos galvánicos - respectivamente.

Mediante el uso de gráficos tales como los dos anteriores puede verse - que puede conseguirse rápidamente un chequeo del efecto de números diferentes y separaciones variables de ánodos y la mejor combinación para alcanzar una - resistencia deseada a la tierra.

Pueden prepararse gráficos similares para aplicaciones específicas uti-- lizando las diferentes fórmulas disponibles.

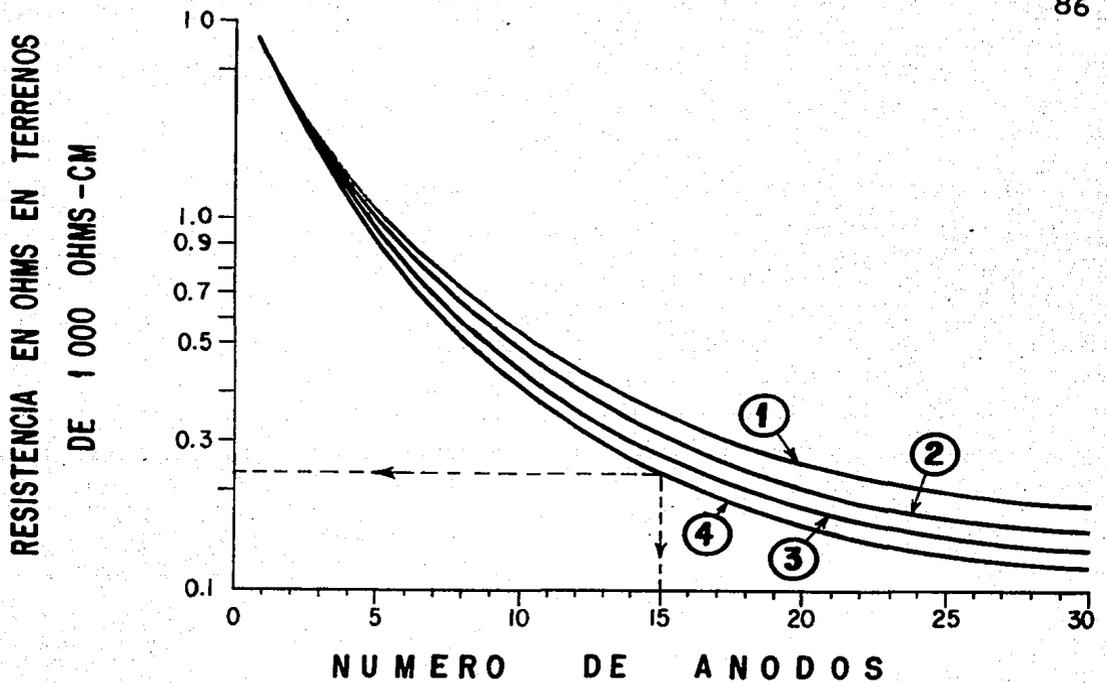


Figura No. 17

Gráfico de diseño típico de ánodo vertical para dispersores de corriente impresa.

Basado en ánodos de 2 x 60" en una columna de coque de 8 x 70" de resistividad de 50 ohm-cm. Resistencia de un ánodo = 2.56 ohm + 0.106 ohm de resistencia interna. Los ánodos se encuentran en línea recta Ej. Para obtener resistencia de 15 ánodos en paralelo con separación de 25' en un suelo de 2200 ohm-cm. La resistencia en paralelo de los ánodos en un suelo de 2200 ohm-cm =  $0.233 \times (2200/1000) = 0.513$  ohm. A esto se agrega la resistencia de un ánodo dividido por el número en paralelo de ellos  $0.513 + (0.106/15) = 0.52$  ohm. En la fig. (1) separación de 10' . (2) separación de 15' . (3) separación de 20' . (4) separación de 25' . /

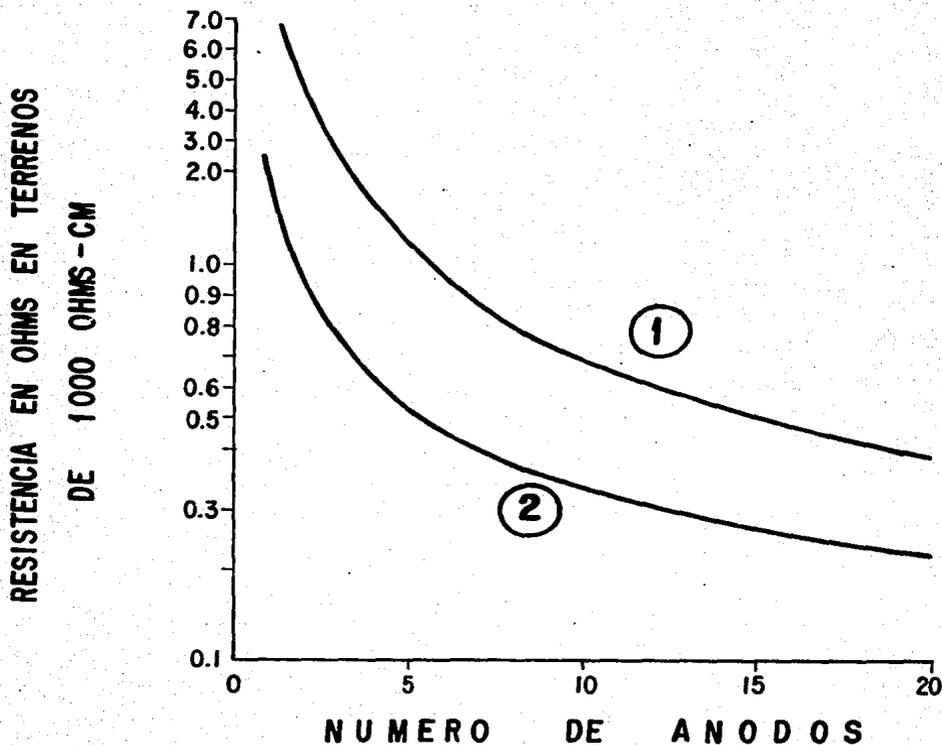


Figura No. 18

Gráfico de diseño típico para ánodos galvánicos verticales.

Resistencia interna aproximada del ánodo en relleno de 300 ohm-cm: --  
 Anodo de 17 lb de magnesio = 0.96 ohm. Anodo de 5 pies de largo = 0.60 ohm.  
 (1) Anodos de magnesio de 17 lb empaquetados, separados por 15 pies.  
 (2) Anodos de 5' de largo de zinc o magnesio, separados por quince pies.

### Determinación de la Resistencia Necesaria.-

Ahora que se posee una información de como puede diseñarse un dispersor para que posea una resistencia deseada, debe darse consideración a la resistencia correcta.

En el caso de la instalación de ánodo galvánico, supongamos que se ha determinado a partir de un ensayo de requerimiento de corriente, que se necesitan 0.5 amperios en una ubicación específica para elevar el potencial polarizado de una estructura a -0.90 voltios en ese punto. Si se utilizan ánodos de aleación de magnesio normal, tendrán un potencial de trabajo de alrededor de 1.45 volt Vs un electrodo de sulfato de cobre. La diferencia entre las dos cifras, 0.55 volt, será el potencial motriz disponible para forzar la corriente necesaria entre los ánodos y la estructura. Para obtener el flujo de corriente necesario de 0.5 A, puede calcularse por la ley de ohm, la resistencia máxima permisible del circuito:

$R = E/I = 0.55/0.5 = 1.1$  ohm. A partir de este resultado, debe extraerse la resistencia efectiva del ánodo del lecho de tierra y la resistencia efectiva de la estructura del ambiente en el punto donde se conectan los ánodos galvánicos. La resistencia remanente es la resistencia máxima permisible para ánodos al ambiente. Utilizando los gráficos de diseño, este es el valor de la resistencia a ser diseñado. La resistencia del alambre dependerá de la longitud y tamaño, y puede ser determinada a partir de las tablas. La resistencia efectiva estructura-ambiente, puede ser aproximada de los datos de ensayos de requerimiento de corriente. El valor en ohm será la corriente de ensayo dividida por el cambio de voltaje provocado por la misma corriente de ensayo:

$$\text{Resistencia} = \frac{V_{\text{circ}} - V_{\text{apag}}}{\text{Corriente}}$$

En el caso de un dispersor de corriente impresa, se utiliza generalmente un procedimiento similar excepto que existe una flexibilidad en el potencial motriz a utilizar, debiéndose establecer una tolerancia por cualquier voltaje de retorno entre el dispersor y la estructura protegida. En el caso de dispersores que utilicen ánodos de carbón o grafito ( u otros materiales rodeados de un relleno carbonoso tal como coque o grafito molido), habrá una diferencia de voltaje entre el lecho de tierra (positivo) y la estructura protegida (negativo) la cual tiende a forzar el flujo de la corriente en la dirección errónea. Este voltaje recibe a veces el nombre de voltaje de retorno y debe ser superado por la fuente de energía de corriente fija, antes que la corriente sea forzada a descargar del sistema anódico. El voltaje de retorno en tal dispersor es comúnmente de alrededor de 2 voltios, aunque puede ser mayor en algunas circunstancias.

Suponiendo que va a encontrarse un requerimiento de corriente de protección catódica de 10 A, con un sistema de corriente impresa por rectificador de 10 A, 12 volt que utiliza ánodos de hierro fundido con alto contenido de silicio, rellenos con coque triturado, y que el voltaje de retorno es de 2 volt, la resistencia máxima permisible del circuito será entonces, el rendimiento neto del voltaje ( volt en los terminales del rectificador menos el volt de retorno), dividido por el rendimiento de la corriente. En este caso la resistencia será:  $R = (12 - 2) / 10 = 1$  ohm; la resistencia de diseño del ánodo debe ser la resistencia máxima permisible del circuito, menos la resistencia del cable del dispersor y la resistencia efectiva estructura-ambiente como se discutió anteriormente.

## CAPITULO 9

## REQUERIMIENTOS ESPECIALES PARA APLICACIONES ESPECIFICAS.

## 9.1.- APLICACIONES EN LINEAS DE TUBERIA.

La mayoría de las aplicaciones de protección catódica de líneas de tubería para conducción de materiales, involucran sistemas ya sea de ánodo galvánico o de corriente impresa, instaladas en la tierra para la protección de las superficies externas de la cañería. La mayoría de las instalaciones de ánodo galvánico, utilizan magnesio como material anódico. Para los sistemas de corriente impresa, la fuente más común de corriente continua, son los rectificadores.

Para líneas instaladas en el lecho del océano (como los cruces en puertos y líneas a las operaciones marinas de perforación), se ha hecho un uso considerable de los ánodos galvánicos tipo "brazaletes". Son en esencia un anillo de ánodos especialmente fundidos que rodean el caño y están directamente conectados a él. Esto permite tener los ánodos ya conectados a la línea a medida que éste es tendido. Por este procedimiento el caño estará protegido catódicamente, a medida que se sumerge. Utilizando conjuntamente un buen recubrimiento aplicado excelentemente, puede proveerse suficiente material anódico para una vida útil larga. Para este tipo de instalación se ha usado preferentemente el zinc como material para los ánodos de sacrificio.

Donde las condiciones del suelo de superficie para líneas terrestres no son adecuadas para dispersores instalados cerca de la superficie, pueden instalarse dispersores de tipo profundo si la resistividad de la tierra subyacente es más favorable. Tales dispersores están instalados usualmente en un solo orificio que puede estar ubicado en algunas circunstancias a varios cientos de metros. Los dispersores profundos son usados principalmente con los sistemas de corriente impresa. Debe ejercerse especial cuidado durante la instala-

ción para evitar fallas prematuras de los ánodos o conductores de los ánodos que pueden no ser reparables y pueden exigir la instalación de un nuevo dispersor completo.

Otras instancias donde son necesarios dispersores profundos, incluyen -- aquellos lugares donde no puede obtenerse la concesión para dispersores de superficie. También se usan en los sistemas de distribución congestionados donde se necesitan dispersores remotos pero donde no se dispone de ubicaciones de superficie lo suficientemente remotas de la estructura a proteger o de la estructura de otro propietario.

En algunas áreas congestionadas, los ánodos galvánicos o de corriente -- impresa, se encuentran distribuidos a lo largo de la longitud del caño a proteger; esto permite ubicar los ánodos, cercanos del caño, con cada ánodo protegiendo una longitud corta. También puede ser controlado más fácilmente el -- efecto sobre otras estructuras; este tipo de instalación, puede ser más caro -- que los dispersores del tipo remoto colocados a intervalos de distancia más -- amplios, pero puede sin embargo ser la mejor solución en algunas circunstancias.

Donde se encuentran líneas de tubería formando un haz y provocando un -- efecto severo de "escudo" puede utilizarse una tira anódica continua, dentro -- del haz y paralela a las líneas para de esta forma brindar una corriente de -- protección dentro del haz de líneas. Tales tiras se encuentran disponibles en magnesio o zinc. Para los sistemas de corriente impresa, se dispone de ánodos de alambre o barras recubiertas de platino aunque tienen el inconveniente de -- que son caros por lo que se usan cuando son la única manera de brindar protección.

#### Interiores de Caños.-

Los interiores de tuberías grandes en diámetro que transportan líquidos corrosivos (tales como agua salada o residuos industriales), pueden estar fo-

rados con un recubrimiento adecuado y protegidos con material anódico galvánico del tipo de tira. Si el interior del caño está desnudo, pueden necesitarse cantidades de corriente relativamente grandes; en este caso puede utilizarse un sistema de corriente impresa con ánodos recubiertos de platino, que penetran a intervalos en la pared del caño.

## 9.2.- ESTRUCTURAS FIJAS EN AGUA DE MAR.

Las estructuras tales como, escolleras de acero, pilotes de acero que soportan muelles, plataformas marinas y otras estructuras similares pueden ser protegidas ya sea con sistemas de ánodos galvánicos de sacrificio o con sistemas de corriente impresa.

Los sistemas de ánodo galvánico en agua de mar, en su mayor parte, utilizan ánodos mucho más pesados que aquellos utilizados en la tierra. Esto es a causa de que es posible obtener de ellos corrientes altas en ambientes de agua de mar de baja resistividad y a causa de que el peso se necesita para brindar una vida útil razonable.

para estructuras que pueden ser polarizadas, es preferible generalmente un ánodo galvánico de potencial bajo ( zinc o aluminio) con respecto a un material de potencial alto como el magnesio. El magnesio se comportará bien pero puede descargar más corriente que la necesaria con el consiguiente detrimento económico en desperdicio de corriente de protección.

Los ánodos de aleaciones adecuadas de zinc o aluminio pueden polarizar una estructura de acero en agua de mar dentro de unos pocos milivoltios del potencial del mismo ánodo. Supongamos que este sea de 50 mV, aunque puede ser menor; esto significa que la corriente del ánodo se estabilizará en un valor suficiente para mantener la polarización. Si se usan ánodos de magnesio sin embargo, la estructura no tenderá a polarizarse más allá de -1.2 voltios

con respecto al electrodo de sulfato de cobre, a causa de que se alcanza el potencial de sobrevoltaje del hidrógeno y esto resulta en el desprendimiento de hidrógeno libre. Esto significa que con el voltaje de magnesio de alrededor de -1.45 volt con respecto al sulfato de cobre, se producirá un voltaje motriz de aproximadamente 0.25 volt (250 mV), por lo tanto sobre una base comparativa el magnesio descargará alrededor de cinco veces más corriente que la necesaria para alcanzar polarización.

A causa de que ánodos de menor potencial darán plena protección catódica (esto es, polarizarán la superficie), la corriente sobrante del ánodo de potencial más alto en efecto, se pierde; sin embargo existe una compensación. El voltaje del magnesio tiende a depositar una cubierta calcárea más gruesa (productos químicos depositados del agua de mar), sobre la superficie de la estructura, que la capa que se obtiene con los ánodos de potencial más bajo. Se entiende que la cubierta calcárea más gruesa, posee valor de protección.

En los ambientes marinos uniformes, no se necesitan rellenos químicos -- a causa de que los ánodos galvánicos , se comportan satisfactoriamente sin --- ellos.

Los sistemas de corriente impresa para estructuras marinas fijas pueden utilizar materiales anódicos adecuados, sin relleno, suspendidos en el agua de mar de la estructura que se protege y apoyados en el lecho oceánico. Se utiliza grafito tratado, hierro fundido de alto contenido de silicio, titanio platinizado o plomo-plata. Debe prestarse particular atención al diseño de la ubicación del rectificador, el sistema de la distribución del cable colector y la suspensión del ánodo así como de los detalles de instalación. Las partes del sistema que emergen del agua se encuentran sometidas a un ataque severo de la atmósfera marina, mientras que otras porciones deben ser protegidas ( o diseñadas para que las soporten) de las fuerzas mecánicas ejercidas por el movimiento del agua de mar, así como también por las resacas arrastradas por el agua o el tránsito marítimo.

### 9.3.- CONSTRUCCIONES NAVALES

Los sistemas de protección catódica en los exteriores de los cascos, deben ser capaces de mantener un amplio intervalo de producción de corriente. Como una regla general, un barco amarrado a un muelle requerirá mucha menos corriente para mantener el caso en una situación polarizada, que la que necesitará cuando se encuentre navegando, esto es a causa del efecto mecánico depolarizante del agua de mar en movimiento rápido. Además un barco recién sacado del dique seco, después de la aplicación de un recubrimiento nuevo (pintura), requerirá al principio relativamente poca corriente. Como durante el servicio la pintura se deteriora, los requerimientos de corriente de protección pueden crecer en la medida del deterioro del recubrimiento. Esto es particularmente cierto para superficies que rozan en bancos de arena, lo que a través de la acción abrasiva elimina paulatinamente el recubrimiento.

Los ánodos galvánicos de zinc y aluminio, son usados en una gran medida sobre los cascos de barcos y resultan satisfactorios si se brinda suficiente material anódico. La producción de corriente de los ánodos aumenta automáticamente, a medida que aumenta la necesidad de corriente de protección. Los problemas de diseño involucran la provisión de los ánodos suficientes para satisfacer la máxima demanda esperada de corriente. Debe brindarse el peso de ánodo suficiente para asegurar una vida útil razonable. Esto se relaciona usualmente con el intervalo normal para mantenimiento en dique seco o algún múltiplo de tal intervalo.

Los sistemas de corriente impresa utilizan ánodos montados sobre los cascos, y medios de ajuste automático de la producción de corriente continua de la fuente de poder para satisfacer los requerimientos variables. Las prácticas presentes favorecen el uso de rectificadores automáticos de potencial controlado; estos dispositivos se encuentran dispuestos de tal manera que la producción de corriente del rectificador se eleva o disminuye automáticamente a través de los circuitos de control de acuerdo a la necesidad de corriente.

El circuito de control es guiado por el potencial entre el casco y electrodos de referencia instalados permanentemente en lugares críticos del casco de la embarcación a proteger catódicamente.

En los buques-tanque, los tanques que se encuentran llenos de agua salada como lastre, luego de la descarga del producto, son susceptibles a una corrosión severa. Los ánodos galvánicos son utilizados ampliamente para prevenir la coorrosión durante el período de lastre. Donde existe peligro de explosión, como lo puede ser en buques-tanque de petróleo y sus productos, el uso de sistemas de protección catódica de corriente fija impone problemas críticos de seguridad para evitar corto circuitos o chispas accidentales. Aunque no existe un peligro probable de chispas en los circuitos de ánodos galvánicos, un ánodo que se suelta de su conexión y cae puede al golpear con el fondo, o alguna otra parte, crear una chispa. El zinc parecer ser el metal menos susceptible de causar chispas.

#### 9.4.- TANQUES

Los exteriores de los tanques pueden ser manipulados normalmente por medios de los sistemas convencionales de protección catódica, en el caso de tanques enterrados o sumergidos; los interiores de tanques pueden ser protegidos cuando contienen agua u otros fluidos conductores que no sean fuertemente ácidos. Si los interiores de los tanques están bien forrados, los ánodos galvánicos pueden ser una buena elección. Si se encuentran desnudos, pueden usarse sistemas de corriente fija, con ánodos montados dentro del tanque. Los conductores de los ánodos son llevados normalmente a través de la pared del tanque a un rectificador u otra fuente de corriente continua.

#### 9.5.- SISTEMAS SUBTERRANEOS DE PLANTAS INDUSTRIALES.

Muchas plantas de elaboración, refinerías, plantas de generación de elec

tricidad , etc. poseen sistemas complejos de estructuras subterráneas; frecuentemente se encuentran involucrados metales disímiles y donde la resistividad del suelo es baja y por esto, corrosiva, la protección catódica puede representar ahorros muy sustanciales.

En los sistemas complejos, existe usualmente una magnitud considerable de "escudo" tal que un sistema simple de protección catódica puede no permitir que la protección alcance las estructuras escudadas; en tales circunstancias pueden requerirse sistemas de protección utilizando ánodos distribuidos a través de toda el área, ya sean galvánicos o de corriente impresa. Donde se utilicen sistemas de corriente impresa en áreas sujetas a peligro de explosión (tales como refinerías) pueden emplearse rectificadores antiexplosión así como cables también antiexplosión.

#### 9.6.- PILOTES Y ENTUBACION DE POZOS.

En la mayoría de los casos, la corrosión de los pilotes enterrados en el terreno tiende a concentrarse cerca del extremo superior . Esto es particularmente cierto donde los pilotes son enterrados a través del terreno o de tierra removida previamente ( oxigenada consecuentemente). Las áreas más bajas ( profundas) son generalmente mucho menos susceptibles a la corrosión, como se ha demostrado usualmente en la práctica; a menos que pueda demostrarse que existen condiciones en la subsuperficie anormales o una situación de corrientes vagabundas que justifique la protección catódica.

Si las condiciones son tales que los extremos superiores requieren protección catódica, en el caso de que se involucren muchos pilotes, puede requerirse un sistema de distribución de ánodos (ya sean galvánicos o de corriente impresa). Tal sistema concentrará la corriente aplicada en los extremos superiores de los pilotes y, si está diseñado correctamente, evitará los efectos de escudo.

Los pilotes utilizados en estructuras marinas son más susceptibles en su mayoría a la corrosión por los efectos del agua salada a la que están expuestos. Bajo condiciones normales, las áreas de tales pilotes donde puede esperarse mayor corrosión, son las siguientes:

- 1.- Justo debajo de la línea de lodo. La línea de lodo es el punto donde el pilote entra en la tierra debajo del agua salada.
- 2.- Justo debajo de la bajamar media ( en la porción del pilote sumergida continuamente).
- 3.- En la zona de salpicadura (donde el viento y la acción de las olas moja la superficie del pilote sobre el nivel medio de la pleamar).

La práctica usual, es concentrar la corriente de protección catódica en aquellas áreas de los pilotes sumergidas continuamente en agua salada; esto cuidará de las condiciones 1 y 2 anteriores; la condición 3 no es ayudada mucho por la protección catódica, a causa de que es insuficiente la cantidad de electrolito para llevar corriente de protección en tales áreas. La mejor aproximación al control de la corrosión en las zonas de salpicaduras, son los sistemas adecuados de recubrimientos protectores.

Las superficies exteriores de las cañerías de entubación de pozos, al ser mucho más largas que los pilotes usuales, se extienden frecuentemente dentro de zonas de subsuperficie donde la corrosión puede ser un problema. Una técnica que ha sido utilizada ampliamente para tales cañerías incluye una instalación convencional de protección catódica en la cabeza del pozo, siendo determinada la corriente requerida para la protección por la técnica de "E-log I". Este procedimiento involucra la aplicación de la corriente de ensayo utilizando un dispersor temporario, comenzando con una cantidad pequeña de corriente e incrementándola poco a poco; a cada incremento de corriente se permite polarizar la línea de entubación del pozo y se miden el potencial de polarización -

y la corriente. Se traslada a un gráfico, el potencial de polarización (E) -- contra el logaritmo de la corriente de ensayo ( $\log I$ ) para cada punto, continuándose el ensayo hasta obtener una irregularidad en la curva (cambio de pendiente). Figura No. 19.

Según indica este método, el flujo de corriente que corresponde a esta irregularidad en la curva, es la corriente aproximada necesaria para obtener la protección.

La corriente requerida para obtener la protección de la cañería de un pozo (que en realidad puede considerarse como una línea de tubería solo que en este caso, vertical), prueba ser considerablemente menor que la necesitada -- para una línea de tubería horizontal de diámetro y longitud equivalentes, enterrado a una profundidad normal; esto es a causa de la inaccesibilidad relativa de la mayor porción de la cañería de un pozo hacia el oxígeno, comparada con la accesibilidad de la línea, cercana a la superficie en el caso horizontal.

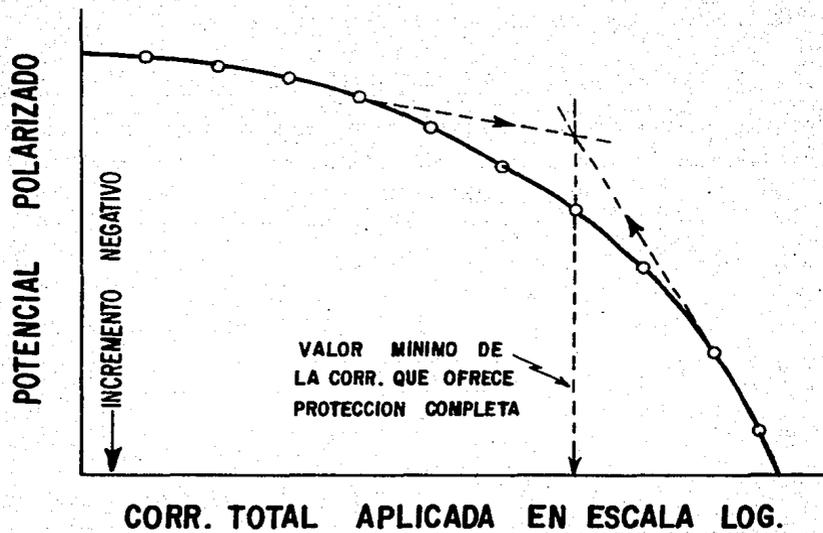


Figura No. 19

Típico nsayo E-log I de requerimiento de corriente de protección catódica, para el caso de la cafería de un pozo .

## CAPITULO 10

## OTROS USOS DE LA PROTECCION CATODICA

## 10.1.- LIMITACION DE DAÑOS POR CAVITACION

Numerosos experimentos han probado y se ha comprobado por la práctica -- generalizada, el hecho de que la protección catódica puede ayudar a reducir -- los daños provocados por la cavitación. La protección catódica de superficies expuestas a este efecto, causado por la formación y desaparición de vacíos microscópicos en volúmenes de agua de movimiento rápido, tal como ocurre sobre la superficie de las hélices de barcos, ha sido beneficioso sobre un amplio -- rango de materiales, velocidades y aguas corrosivas.

Es práctica común, por ejemplo, fijar ánodos a los cascos de los barcos en la vecindad de las hélices, y aplicar protección catódica a las superficies de las mismas hélices. La mayoría de los investigadores suponen que la pro---tección catódica ayuda bajo condiciones de cavitación, limitando el espesor de las películas de corrosión sobre las superficies afectadas; estas películas -- son dislocadas por el impacto del agua sobre los vacíos que se rompen, expo---niendo metal fresco a la corrosión; cuando se reduce la corrosión, se expone -- menos película a la erosión por efecto de la cavitación.

## 10.2.- REDUCCION DE LOS DAÑOS POR CORROSION DE GRIETAS

Algunos materiales susceptibles a la corrosión por grietas, incluyendo: Metal monel, ciertos aceros inoxidable; acero dulce y otros, muestran un mar--cado beneficio de la efectividad de la protección catódica para limitar la -- magnitud y la severidad de esta forma de ataque. Aún a densidades de corrien--te relativamente altas ( $322 \text{ A/m}^2$ ), se redujo la corrosión por grietas en el

monel, en acero inoxidable 302 y 304 sin formar ampollas, esto puede ser importante en instalaciones tales como plantas de desalinización, donde se manipulan grandes volúmenes de agua.

La protección catódica también ha probado ser efectiva en la prevención o reducción de la incidencia de la rotura por corrosión bajo esfuerzo (corrosión por tensión), en algunos materiales; algunos ensayos muestran que la protección catódica aplicada luego que ya se ha comenzado la rotura de corrosión bajo esfuerzo, detuvo la falla.

### 10.3.- PROTECCION CATODICA DE LATAS.

Una parte considerable de la protección brindada a los alimentos preservados en envases metálicos, depende de la protección catódica del envase de acero, provisto del recubrimiento de estaño. La protección conferida por el estaño es efectiva en muchos ambientes alcalinos y ácidos y parece ser una función del espesor. Sin la protección del estaño, el acero en las latas sería atacado por los contenidos de los envases, arruinándolos ya sea por contaminación con los productos de corrosión, o por la generación de hidrógeno.

### 10.4.- CALEFONES DOMESTICOS.

Durante generaciones se han utilizado tanques galvanizados (recubiertos con zinc) para almacenar agua caliente para uso doméstico. El recubrimiento de zinc del tanque confiere protección catódica al acero hasta que el zinc se consume.

Los usos similares del zinc y magnesio en forma de ánodos, son comunes para proteger las superficies interiores de los calefones domésticos vidriados. Los ánodos suministran corriente para ayudar a polarizar los defectos en el recubrimiento vítreo de los calefones y aumentar grandemente su duración.

En los tanques comerciales de almacenamiento de agua caliente se aplica corriente fija para protegerlos catódicamente.

Otras aplicaciones.-

Entre otras instalaciones de protección catódica que producen resultados beneficiosos se encuentran sistemas en los alambres de acero de refuerzo de los caños pretensados de concreto, acero de refuerzo en las estructuras de concreto reforzadas y otros tales como: máquinas lavadoras de botellas de bebidas sin alcohol y las partes sumergidas de metal de barcos con cascos de madera. Debe pensarse en cada caso, el estudio cuidadoso del ambiente corrosivo, las áreas y tipos de metales a proteger y los posibles efectos secundarios.

Por ejemplo, debe tenerse cuidado en la aplicación de la protección catódica del acero bajo ciertas condiciones de esfuerzo a causa de que puede causar fragilidad por hidrógeno. En el caso de barcos con casco de madera, es necesario evitar la aplicación de un corriente excesiva, a causa de que el hidrógeno generado por el exceso de corriente, creará una región altamente alcalina cerca de las partes metálicas que destruirá la madera.

Un uso interesante del retardo del tiempo de "deterioro" por la aplicación de una corriente de protección catódica a una superficie de acero, involucra la protección de un gran tambor de una máquina de fabricación de papel. La protección de ese tambor, redujo su corrosión (lo que hacia necesario parar la máquina para extraerlo y reponerlo), y aumentó el tiempo que la máquina podría trabajar sin requerir la extracción del tambor.

#### 10.5.- PROTECCION ANODICA

En la protección anódica, la superficie a proteger es convertida en un ánodo (+) y forzada a descargar la corriente a un cátodo (-). Esto parece ser incorrecto, sin embargo ciertas soluciones (electrolitos) usualmente de -

naturaleza acida pueden permitir el desarrollo de una condición pasiva del metal en su superficie, bajo tal condición de descarga de corriente. Usualmente esto ocurre solamente cuando el potencial entre la estructura y el ambiente -- se encuentra dentro de una banda de valores relativamente estrecha; la estructura se corroe libremente a potenciales ya sea por encima o por debajo -- del rango pasivo. Por esta razón, los potenciales de protección, deben ser -- controlados muy cuidadosamente, además la protección anódica es aplicada mejor a estructuras de forma tal que el esquema de descarga de corriente permitirá potenciales estructura-ambiente uniformemente dentro del rango de pasividad.

Aún cuando la estructura protegida anódicamente se encuentre en la zona pasiva, se requiere descarga de corriente para mantener pasividad. Por esta -- razón la protección no es absoluta, pero la velocidad de corrosión es mucho menor que la que existiría sin el sistema de protección anódica. Figura No. -- 20.

Usualmente los sistemas de protección anódica son aplicables a tanques - y reactores donde el ambiente corrosivo contiene oxígeno y es de naturaleza ácida, volviendo imprácticos los sistemas de protección catódica a causa de la dificultad de polarizar catódicamente la superficie protegida.

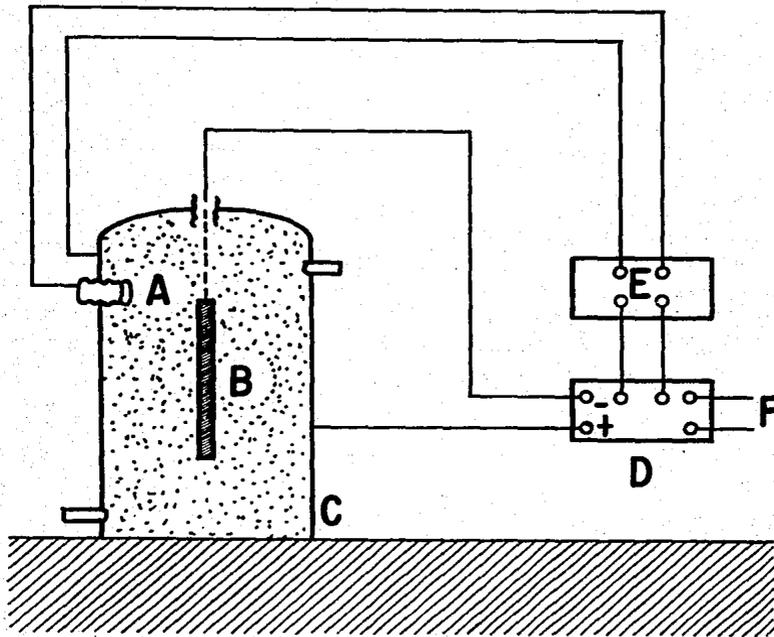


Figura No. 20

**Elementos básicos de un sistema de protección anódica.**

A) Electrodo de Referencia; B) Cátodo; C) Estructura protegida (anódica); D) Rectificador de potencial controlado, como fuente de corriente -  
 continua; E) Circuito de control; F) Suministro de corriente alternada.

PARTE 2

DESARROLLO Y PROCEDIMIENTOS PRACTICOS DE CAMPO  
EN LA PROTECCION CATODICA.

## CAPITULO 11

## INSTRUCTIVO DE PROCEDIMIENTOS DE PROTECCION CATODICA.

El objeto es dar una idea general de las situaciones prácticas que se presentan con frecuencia en los trabajos de protección catódica a estructuras metálicas.

## 11.1.- INSPECCION

La inspección de la estructura por proteger, se hará en forma visual -- siempre que sea factible y servirá para recabar los datos suficientes para la programación adecuada de los trabajos de campo necesarios para el diseño de la protección. Los datos a recabar serán los siguientes:

## A.- En estructuras enterradas:

- a.- Trazos y accesos a la estructura. Se anotará si son transitables los accesos y el derecho de vía, haciéndose los croquis -- que se considere conveniente.
- b.- Accidentes topográficos. Deberán anotarse los ríos, arroyos, lagunas, zonas agrícolas, zonas inundables, salinas, etc. con todas las referencias posibles.
- c.- Probables puntos de drenaje. Serán los lugares de baja resistividad, que normalmente son las zonas de humedad permanente, -- áreas verdes, salitrosas, etc. que sean de fácil acceso.
- d.- Fuentes de energía eléctrica. Se tomará nota de los sitios -- próximos a cruzamientos con línea de energía eléctrica.

- e.- Ramales. Se anotarán los puntos donde se conecten otras líneas o estructuras, indicando sus características.
- f.- Seccionamientos eléctricos. Se registrará si existen y su funcionamiento.
- g.- Otras estructuras. Se harán constar, las líneas o estructuras próximas, paralelas o que crucen, especialmente en zonas urbanas, dado que pueden resultar perjudicadas por interferir en la distribución de la corriente de protección, originando además pérdidas en el sistema.
- h.- Estado físico de recubrimiento. Se indicarán los sitios que se considere convenientes para efectuar la verificación del estado del recubrimiento, los cuales pueden ser: puntos de inflexión, curvas de nivel, proximidades de los cruces aéreos, zonas de derrumbes, deslaves, áreas urbanas, etc.
- i.- Señalamiento, Amojonamiento y Registro. Se anotará si existen y sus condiciones de operación.

B.- En estructuras sumergidas:

(Plataformas, muelles, puentes, ductos, tanques, etc., Además de los datos anteriores, son necesarios los siguientes) :

- a.- Niveles de fluido. El nivel máximo servirá para calcular el área por proteger, y el nivel mínimo, para propósitos de instalación.
- b.- Corrientes marinas, fluviales, turbulencias, etc. Se anotarán su intensidad, dirección, localización, etc. con el fin de colocar en forma estratégica los dispositivos anódicos.
- c.- Temperatura del fluido. Influye en la conducción de la co ---

riente eléctrica, por lo que hay que tenerla en consideración al elaborar el diseño del sistema de protección catódica.

- d.- Muestreos y naturaleza del fluido. Se seleccionarán los sitios y niveles adecuados en las proximidades de la estructura, en las cuales se obtendrán muestras representativas, para investigar su composición química y su conductividad eléctrica.
- e.- Configuración de la estructura. Deberá considerarse para lograr una distribución uniforme de la corriente de protección.
- f.- Datos complementarios. Se anotarán todas las observaciones y datos que se juzguen útiles para el estudio de protección y que no hayan sido anotados anteriormente en alguno de los puntos previos.

#### Procedimiento.

Los datos, se podrán obtener de la siguiente manera:

##### A.- En estructuras enterradas.

Se hará un recorrido sobre el derecho de vía y sus accesos, se usarán como referencias, estacas, mojoneras, o bien los postes de registro en caso de haberlos.

Se hará un croquis y se referirá con respecto a la estructura en forma apropiada.

Investigar, origen y destino de las líneas de energía eléctrica.

Se recorrerán los ramales para obtener las características de los mismos.

Se revisará en funcionamiento de los aislantes.

Se investigará el origen y destino de estructuras extrañas, recurriendo a la información disponible.

Se investigará en los sitios seleccionados, el estado del recubrimiento con los medios adecuados para ello, aparatos de medición de espesores detectores de continuidad de recubrimiento, etc.

Se revisarán cuidadosamente las conexiones eléctricas que existan.

**B.- En estructuras sumergidas:**

Se recurrirá a datos estadísticos o se harán observaciones y mediciones directas.

Se obtendrán en el sitio de la estructura, todos los datos que sea posible y para otros, será necesario someter en un laboratorio las muestras obtenidas a las mismas condiciones en que se encontraban.

Se recurrirá a planos y croquis, haciendo mediciones directas -- cuando sea necesario.

### **11.2.- CADENAMIENTO**

Es la investigación de las dimensiones de la estructura por proteger, en planos o por mediciones directas y puede hacerse en forma simultánea a la inspección..

**Objetivo.** Cualcular el área por proteger, y determinar los lugares - que se amojanarán y señalarán, por lo que sus datos deberán ser lo más exactos posibles.

## Procedimiento.

Las mediciones físicas de la estructura se harán dejando referencias -- provisionales fácilmente identificables, las cuales serán empleadas para el -- posterior señalamiento y amojonamiento.

En el caso de estructuras enterradas o sumergidas, será necesario conocer su trazo, valiéndose de métodos y técnicas apropiados.

Registro de datos. Los datos obtenidos se anotarán en una libreta de -- campo.

### 11.3.- AMOJONAMIENTO Y REGISTROS

Es la instalación de registros y dispositivos de medición, en los si--- tios localizados durante el cadenamiento, con el objeto de señalar el trazo - de la estructura, uno; y poder efectuar mediciones eléctricas, otro; para el control de corrosión.

En estructuras enterradas, se usarán postes de registro que señalarán, el trazo, diámetro ( de la tubería) servicio, kilometraje, origen y destino - de la estructura, en el sitio donde se instalen.

El dispositivo de medición servirá para efectuar las mediciones eléctri cas de potencial. Donde sea necesario, se usarán postes de inspección aérea y en áreas de abundante vegetación, se usarán postes para alta vegetación.

Para señalar las camas de ánodos en sistemas de corriente impresa (áno dos de grafito), es recomendable usar postes de concreto de las mismas dimen siones, omitiendo el dispositivo de medición eléctrica y grabando en sus ca-- ras, señales convenidas para su identificación.

En las zonas urbanas o donde sea necesario, se podrán utilizar otro tipo de registros más adecuados, como lo es el registro de piso ilustrado en la siguiente figura No. 21.

Los ductos sumergidos, se señalarán con boyas siempre que sea necesario, las cuales llevarán dispositivo de medición cuando lo amerite.

En tanques, los registros serán como los de la figura No. 22. La conexión del registro en estructuras sumergidas será semejante en principio a la de un poste de registro.

Registro de datos. Se llevará record de los amojonamientos efectuados y se anexará al expediente de la instalación para su control.

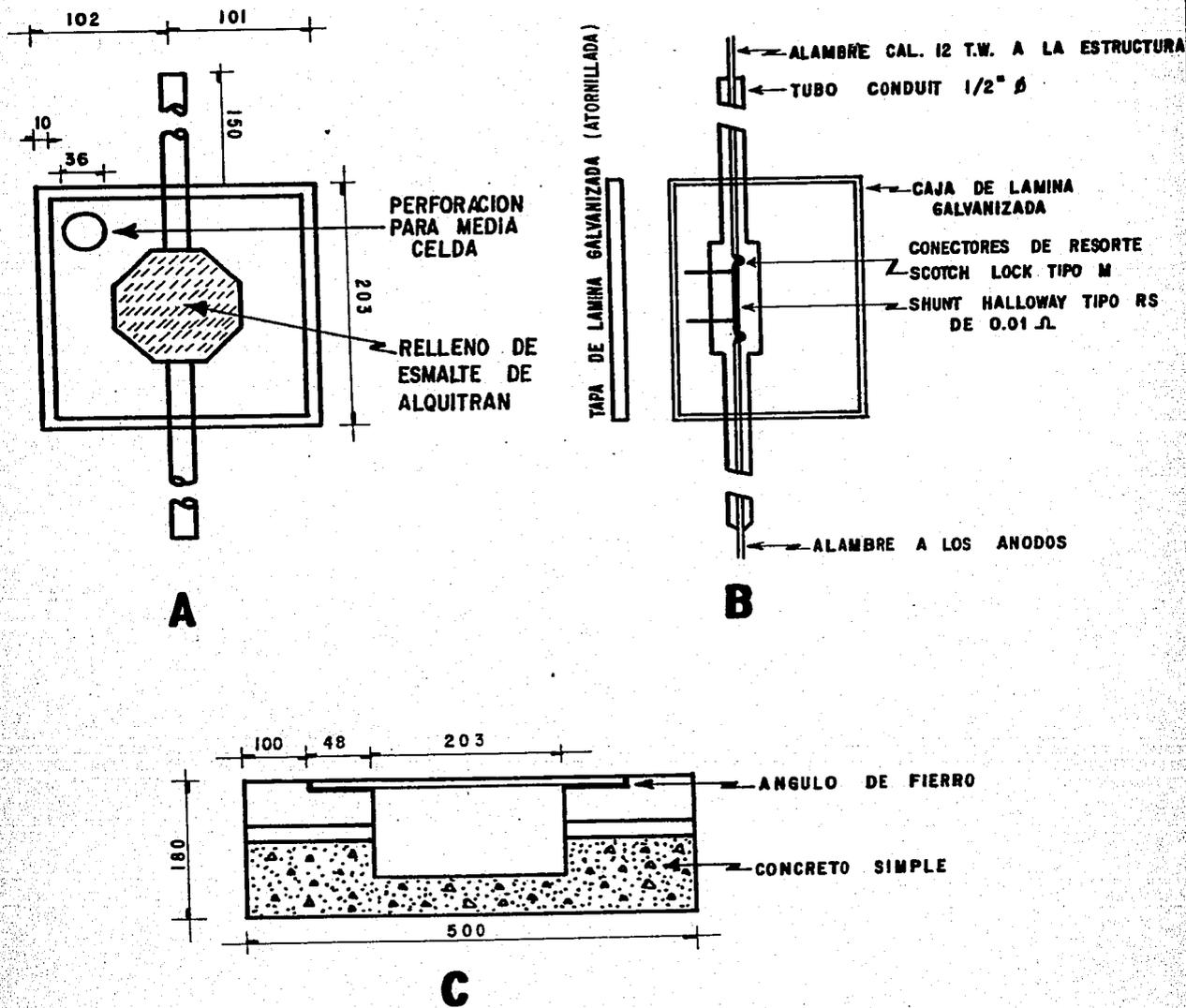
#### 11.4.- SECCIONAMIENTOS ELECTRICOS

La existencia o instalación de seccionamientos eléctricos, es básica para aislar eléctricamente la estructura por proteger de otras no deseables o bien, limitar las dimensiones de la misma conforme al diseño de protección.

El material con que se fabrican estos seccionamientos es de lo más variado y normalmente son de fibras comprimidas e impregnadas, también plásticos, materiales sintéticos como el neopreno, etc. los cuales deben ser de una calidad tal, que soporten las presiones de operación.

Los seccionamientos eléctricos asumen varias formas y se dividen comúnmente en:

- a.- Juntas Aislantes. Estas se usan en bridas compañeras y pueden ser del tipo anillo (ring-joint) cara plana o cara realzada (raised face).
- b.- Coples Aislantes. Estos pueden ser de fierro, bronce, aluminio y



ACOT. EN MM

FIGURA No. 21  
 REGISTRO DE PISO PARA PROTECCION CATODICA  
 A.-PLANTA, B.- DISPOSITIVO DE MEDICION  
 C.- VISTA LATERAL

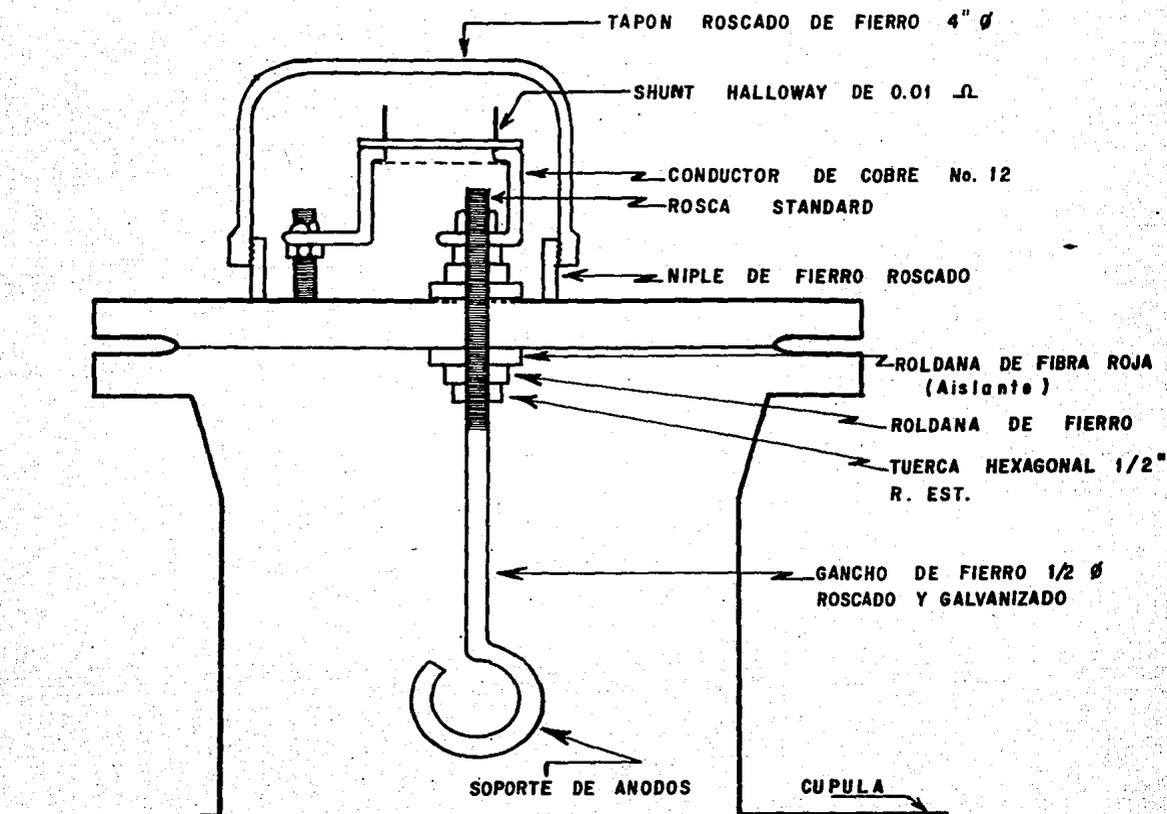


FIGURA No. 22

REGISTRO DE PROTECCION CATODICA EN TANQUES.  
 INCLUYE DISPOSITIVO DE MEDICION Y SOPORTE DE ANODOS.

llevan en su interior, el material propiamente aislante, la cubierta metálica proporciona resistencia mecánica a la unión.

- c.- Tuerca Unión. Estos se fabrican de igual material que los coples y pueden ser: roscados o de golpe.

La instalación de seccionamientos eléctricos, es de vital importancia para evitar fugas de corriente de protección con el consiguiente ahorro, asegurando los niveles de protección convenidos en el proyecto.

#### Procedimiento.

Es necesario verificar el funcionamiento de los seccionamientos; existiendo para tal fin, los siguientes métodos:

- a.- Diferencia de potencial.-

Midiendo el potencial estructura-electrolito, en ambos lados del seccionamiento, se manifiesta una diferencia de potencial, aunque en algunos casos esta diferencia es mínima, o bien no hay diferencia y sin embargo no por eso se puede asegurar que el seccionamiento funciona o no. Por lo que: cuando hay duda acerca de esto se debe proceder a checar por otro medio.

- b.- Por resistencia.

Es obvio que si se trata de un seccionamiento aislante deberá presentar oposición al paso de una corriente, manifestándose en forma de resistencia, la cual puede medirse por medio de un ohmetro de alta sensibilidad o por medio del vibroground. Si se obtiene un valor de resistencia este solo hecho indicará el buen funcionamiento de la junta aislante.

c.- Por Campo Electromagnético.

Este método se conoce como el método de "la brújula", en este caso se aplica en ambos lados del seccionamiento, una diferencia de potencial, de una fuente de energía eléctrica de corriente continua de bajo voltaje como lo son: Pilas secas, acumuladores, etc. se -- coloca una brújula del lado que se supone de menor potencial, y si se observa una deflexión en la aguja, será debido a que hay un -- flujo de corriente, al través del seccionamiento, lo que indicará, que este se encuentra en corto circuito o "cruzado".

Siempre que se encuentren seccionamientos en corto circuitos, se -- procederá a revisar cada una de las partes integrantes del mismo, con fin -- de su reparación o programar, su restitución.

Registro de datos. Se llevará un registro de datos obtenidos, en la li breta de campo. En caso de que no estén instalados los seccionamientos, se -- tomará nota de las características necesarias como lo son: diámetro, presión tipo, etc.

#### 11.5.- INVESTIGACION DE FUENTES DE ENERGIA ELECTRICA.

Esta investigación puede efectuarse durante el desarrollo de la inspec-- ción preliminar, o bien posteriormente, la importancia que tiene para el dise-- ño de un sistema de protección es:

- I.- Si se opta por instalar un sistema de protección con corriente im-- presa, las fuentes servirán para alimentar los rectificadores.
- II.- Si las estructuras que soportan a la ó las líneas son metálicas -- (postes o torres) y se localizan enterradas cerca de la estructura

a proteger, pueden afectar el diseño de la instalación si no se toman en cuenta.

#### Procedimiento.

Todas las líneas, que se localicen, se tomarán en consideración, investigando la tensión eléctrica que transmiten, refiriéndolas al kilometraje de la estructura y haciendo un croquis con las acotaciones pertinentes.

Dando mayor importancia a aquellas cuyas tensiones sean económicamente transformables a una menor tensión, con miras a su aprovechamiento. En cuanto se localizan tensiones de 440 , 220, 110 voltios, estas no requerirán más que investigar la posibilidad de obtener la contratación del servicio, pero sin descuidar su longitud, debido a las caídas de tensión.

Registro de datos. Los datos obtenidos, se anotarán en la libreta de campo.

#### 11.6.- MEDICION DE RESISTIVIDADES.

Es la determinación que se hace para conocer la conductividad eléctrica del terreno o fluido en contacto con la estructura. Este dato es de suma importancia, ya que de su valor depende la exactitud del diseño.

En tuberías pobremente recubiertas, es conveniente elaborar un perfil de resistividades, haciendo mediciones cada 100 metros, esta distancia podrá ser mayor o menor, cuando el caso lo amerite. Los electrodos deberán colocarse aproximadamente a 2.50 metros de la estructura y paralelos a ella.

Los datos graficados, servirán para determinar los puntos críticos, los

cuales son aquellos que tienen un valor más bajo de los adyacentes.

Se considera que los medios de 0 a 1000 ohm-cm de resistividad, son - altamente corrosivos, de mil a cinco mil; moderadamente corrosivos, de 5 000 a 10 000; poco corrosivos, y mayores de 10 000; con pocas posibilidades de - corrosión.

Debe tomarse en cuenta, la relatividad de estos factores al considerar los puntos críticos. Puede elaborarse también, una plantilla de resistividades, que se hará en forma de cuadrícula y graficándola en papel de escalas - naturales, obteniéndose curvas que servirán para localizar las zonas de baja resistividad.

En tuberías bien recubiertas, se medirán resistividades solamente en aquellos lugares que se consideren de baja resistividad, tales como: Arroyos, Ríos, Lagunas, Zonas Salinas (pantanos), Zonas Inundables, etc.

#### Procedimiento.

La determinación de la resistividad puede hacerse, usando varios métodos y aparatos, que son:

##### a.- Método Wenner de 4 electrodos.

Se efectúa utilizando un aparato conocido como vibroground. Este método es el más rápido, sencillo y de una precisión aceptable y permite conocer, la profundidad del medio a la que se le toma su valor y su resistividad, por supuesto, ya que la profundidad es igual a la separación entre los electrodos.

En este método, se conectan los electrodos que están situados en los - extremos, a los bornes de corriente (C) del aparato, y los electrodos medios

alos bornes de potencial (P) teniendo especial cuidado, que la distancia entre estos, sea rigurosamente igual y exacta.

Se procederá a cerrar el circuito, con el interruptor de contacto, de que está provisto el aparato, observándose una deflección en la aguja del -- galvanómetro; con el reóstato variable y graduado, se llevará la aguja hasta su punto de equilibrio, en el cual se tendrá un valor que será multiplicado por el rango de sensibilidad del aparato usado, este producto se multiplicará por el factor de espaciamento entre electrodos, obteniéndose el valor de la resistividad finalmente en unidades de ohm-cm.

b.- Método del Volmetro-Ampérmetro.

Este método es básicamente, el de 4 electrodos, con la variante -- que se usa un aparato denominado multicombinado como vólmetro-ampérmetro, -- en este caso, la determinación es sumamente precisa, pero muy laboriosa, por lo que hay que tener cuidado al efectuar la determinación con este tipo de -- aparato ya que puede causarse daños a los instrumentos por un mal manejo.

c.- Método Soil-Rod.

Este método tiene la desventaja de obtener solo pequeñísimas muestras del medio, y los datos así obtenidos son de difícil interpretación, actualmente este sistema está en desuso.

d.- Método Soil-Box.

Este método es de laboratorio y consiste en medir un espécimen, - reproduciendo al máximo las condiciones naturales del medio de donde proven ga, ya sea el suelo o un fluido, en una caja de material aislante cuyas dimensiones interiores son 1x1x 3 1/8 de pulgadas; usando el método del Volme tro Ampermetro.

## 11.7.- MEDICIONES DE POTENCIAL

La medición de potenciales, es uno de los trabajos más importantes en protección catódica, ya que sirve para obtener la tensión de la corriente producida en todo fenómeno de corrosión electroquímica.

Los valores obtenidos sirven para:

A.- Investigación de potenciales de superficie, los cuales se usan en:

- a) Estudio de interferencias
- b) Investigación de corrientes parásitas
- c) Conductancia de recubrimientos
- d) Localización de áreas anódicas
- e) Localización de fallas en el cable colector de lechos anódicos.

B.- Investigación de potenciales estructura-electrolito estos se usan en:

- a) Pruebas de protección catódica
- b) Formación del criterio de potencial de protección.

Es universalmente aceptado que una estructura de acero con protección catódica estará protegida bajo un potencial de 0.85 voltios, medido con respecto a un electrodo estandar de  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ , colocado en el electrolito inmediatamente adyacente a la superficie del metal.

Procedimiento.

En la investigación de potenciales de superficie, el conocimiento de estos valores sirve para determinar, la diferencia de potencial entre dos medias celdas, colocadas en el electrolito, determinando así, el sentido de la

corriente y la magnitud de la diferencia medida.

La investigación de potenciales estructura-electrolito se hace utilizando un voltmetro de alta resistencia interna conectando su polo negativo a la estructura y el positivo a la media celda de referencia. La colocación de la media celda en estructuras enterradas, deberá ser en la superficie del terreno que está sobre la estructura.

Para asegurar el contacto eléctrico entre el electrodo y el terreno, será necesario humedecer éste previamente.

En el caso de estructuras sumergidas, la media celda se colocará, lo más próxima posible a ésta.

Registro de Datos:

Los valores de potencial que se obtengan, se anotarán indicando la localización del sitio donde se han determinado, utilizando la libreta de campo.

Se graficarán posteriormente en papel logarítmico (semi) de dos ciclos tomando como abscisas las distancias y en las ordenadas, los valores de las potenciales.

#### 11.8.- PRUEBAS DE REQUERIMIENTO DE CORRIENTE

Objetivo.- Las pruebas de requerimiento son las aplicaciones de corriente directa, que se hacen en la estructura por proteger, con el objeto de obtener datos suficientes para estimar aproximadamente el por ciento de área desnuda y poder diseñar el sistema de protección, en forma racional.

También se usa para determinar las atenuaciones de potencial, que sirven como base para fijar el espaciamento entre puntos de drenaje. Estas -- pruebas se efectúan en los puntos seleccionados durante el recorrido de inspección. Investigando el comportamiento de la estructura tanto en su consumo de corriente, como en la atenuación de potencial de protección.

El número de pruebas de requerimiento de corriente, la determinará el estado del recubrimiento de la estructura.

#### Procedimiento.

Para efectuar las pruebas de requerimiento de corriente, se emplean -- cualquier fuente de energía directa como generadores, o rectificadores portátiles etc. El consumo de corriente variará en razón directa con el estado -- del recubrimiento de la estructura.

El polo negativo de la fuente se conecta a la estructura, intercalando un derivador de corriente (shunt) que sirve para conectar el instrumento de medición de potenciales y corriente, el polo positivo se conecta a un dispositivo provisional de tierra, generalmente tubería de desecho o chatarra o -- cualquier otro conductor eléctrico capaz de drenar suficiente corriente al -- terreno; enterrándolo a una distancia mínima de 25 metros de la estructura.

#### Trabajos previos.

Antes de la aplicación de corriente, se obtendrán los potenciales naturales; que son aquellos que tiene toda estructura metálica, al estar en -- contacto con un electrolito. También se determinará la resistividad en el -- punto de drenaje, entendiéndose como Punto de Drenaje, el punto en que se -- instala el dispositivo provisional de tierra.

La aplicación de corriente se hará procurando no exceder el potencial estructura electrolito de 2.5 voltios en el punto de drenaje con fin de no dañar el recubrimiento de la estructura.

Se medirá, la tensión y la corriente de la fuente aplicados inicialmente, y en forma periódica ya durante la prueba en sí, se anotarán los valores de: Potencial estructura-electrolito, Tensión y Corriente aplicadas anotando la hora.

Generalmente se nota que el valor de potencial tiende a subir a un valor máximo constante, sucediendo lo contrario con la tensión y corriente aplicadas; este fenómeno se debe a la polarización de la estructura; y el tiempo en que esto se logra es muy variable, dependiendo también del estado del recubrimiento y de la resistividad del terreno o electrolito, entre otras cosas.

Durante la prueba se medirá y anotarán los potenciales estructura-electrolito a lo largo de la estructura en ambos lados a partir del punto de drenaje en tuberías por ejemplo tomando la hora exacta a la que fueron efectuadas y la posición, suspendiéndose esto en el punto en el cual se obtenga un valor de 0.80 voltios.

Para el cálculo del área desnuda es necesario tomar dos secciones de la estructura a cada lado del punto de drenaje como shunts, localizándolos en los puntos donde se obtengan potenciales de 0.80 y 1.00 voltios, la corriente que fluye en ambas secciones se calculará determinando potenciométricamente las caídas de voltaje en los extremos de dichas secciones; conociendo la resistencia eléctrica de la estructura, se puede calcular la corriente que fluye aplicando la ley de ohm. La longitud de las secciones usadas como shunts dependerá del diámetro y espesor de pared y por lo tanto de su resistencia, de tal modo que permita leer lecturas de caída de potencial de 2 a 3 milivoltios como mínimo, para que el cálculo de la corriente pueda ser preciso

so. La resistencia eléctrica de la estructura se determina conociendo el diámetro, espesor y material.

Esta determinación del área desnuda, se debe hacer en todos los puntos en donde se aplique corriente de prueba, con el fin de obtener datos suficientes para juzgar la calidad del recubrimiento, disminuyendo las posibilidades de error.

Los tramos de longitud A y B limitados por las secciones 1 y 2 citados en las pruebas de requerimiento, se localizan en ambos lados del punto de drenaje y están comprendidos entre las secciones consideradas como shunts. La sección 1 es la más alejada del punto de drenaje, y la sección 2 es la más próxima. La longitud, es la dimensión de cada sección.  $\Delta V$  es la caída de potencial en la sección indicada. Y como km se anotará la localización del centro de la sección.

Todos los valores de potencial obtenidos durante la prueba, se localizarán en la misma hoja de la gráfica de potenciales naturales de antemano levantada.

### 11.9.- DISEÑO CON ANODOS DE SACRIFICIO

Los ánodos de sacrificio tienen por objeto la elaboración de sistemas de protección catódica, simplificados, eficientes y económicos, determinando el número total de puntos de drenaje de corriente y la intensidad de ésta.

Los materiales de los ánodos de sacrificio pueden ser cualesquiera de los materiales más electronegativos que el fierro en la serie electromotriz, siendo los más usuales: magnesio, aluminio y zinc.

El magnesio se usa preferentemente en instalaciones enterradas y en

instalaciones sumergidas se usan aluminio y zinc.

En estructuras enterradas generalmente se instalan los ánodos, rodeados de un material de relleno, cuyos componentes pueden ser: Yeso (para crear un medio donde el consumo del ánodo sea uniforme), Bentonita (para proveer de humedad a la mezcla aprovechando sus propiedades higroscópicas), Sulfato de sodio anhidro ( para incrementar la conductividad del electrolito, debido a sus propiedades ionizantes.

Pueden usarse otros materiales de relleno, tales como cloruro de calcio, hidróxido de magnesio, cloruro de sodio, etc. dependiendo del ánodo y del electrolito.

En estructuras pobremente recubiertas, es conveniente usar ánodos de sacrificio, ya que éstas tienen limitaciones en cuanto al potencial máximo aplicable en el punto de drenaje ya que por encima de 1.0 o 1.1. voltios, se tienen consumos muy fuertes de corriente de sobreprotección en las cercanías de dicho punto de drenaje, bajando la eficiencia de la corriente de sobreprotección.

Para el diseño de sistemas de protección en estructuras sumergidas se usará la siguiente expresión

$$\text{No. de ánodos} = \frac{A \times d \times V \times Eq}{n \times W_a} \quad \text{donde:}$$

A = área por proteger en pies cuadrados

d = densidad de corriente en miliamperos/ ft<sup>2</sup>

V = vida útil promedio de los ánodos en años

Eq= equivalente electroquímico del material de los ánodos. libras/año.

n = eficiencia de drenaje de corriente en los ánodos %

W<sub>a</sub> = Peso por ánodo. libras.

Diseños con corriente impresa.

Este tipo de diseño así como el de ánodos se verán mas en detalle en - capítulos subsecuentes, en virtud de la atención que merecen para ser trata-- dos en forma extensa.

## CAPITULO 12

DESARROLLOS PRACTICOS DE REQUERIMIENTOS DE CORRIENTE  
Y DISEÑOS PARA RECTIFICADORES.

## Objetivo.-

En el presente capítulo se trata de la manera más clara y sencilla posible, los pasos a seguir en el campo durante el proceso de las pruebas de requerimiento de corriente. De manera que de su lectura atenta se esclarescan dudas que pudieran haber surgido durante la lectura de los capítulos previos.

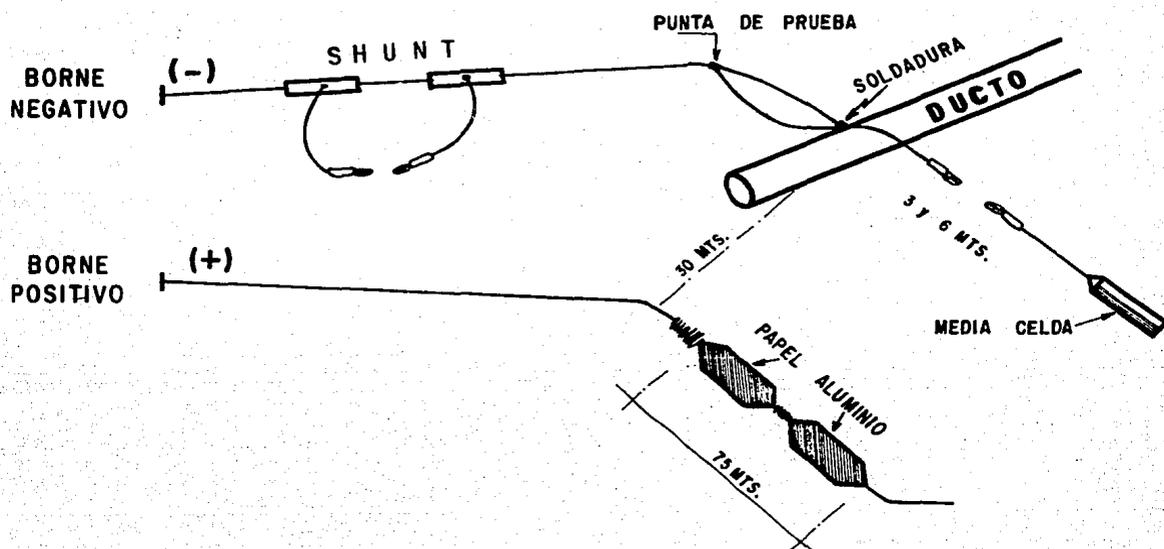
Casi toda la información que se detalla proviene de experiencias de campo recopiladas a lo largo de un año y medio aproximadamente en el Distrito -- Petrolero de Comalcalco en el Estado de TABASCO y revisada posteriormente por la Sección de Corrosión en Villahermosa.

Se incluye el desarrollo de 4 pruebas de corriente. Fórmulas para diseño de rectificadores, 4 ejemplos prácticos de diseño, y se concluye con un -- plano de localización y datos de instalación para un rectificador de corriente.

## 12.1.- OBTENCION DE DATOS DE DISEÑO. PRUEBA No. 1

PRUEBA DE REQUERIMIENTO DE CORRIENTE PARA OBTENER DATOS PARA EL DISEÑO DE LA PROTECCION CATODICA DEL DUCTO DE 12" Ø QUE VA DEL CABEZAL DE RECOLECCION EN EL CAMPO BELLOTA AL POZO PETROLERO NO. 1 DEL CAMPO "EDEN". DISTRITO COMALCALCO, TABASCO.

Diagrama de Conexiones No. 1.



El anterior diagrama se explica por sí mismo dada su simplicidad. Se utiliza una máquina de soldar como fuente de corriente directa. El borne negativo de la máquina se conecta por medio de un cable, al ducto objeto del estudio, intercalando un derivador de corriente en el circuito entre la punta de prueba y el borne de la máquina, como se muestra en el esquema. El derivador sirve para leer de manera indirecta la cantidad de corriente que maneja el circuito; para esto únicamente se conecta un multímetro con su escala en mili voltios, a las conexiones laterales diseñadas para lo mismo en el shunt, y se

lee directamente el valor en milivolts que marque al aparato al conectarse.-- Supongamos que se leen 20 milivoltios en el aparato; el shunt es de 100 A-50 mV. Existe entonces una proporción de 2 Amperios para cada milivoltio leído o sea relación de 2 a 1, por lo que el valor de la corriente será ( si se leen 20 mV) de 40 amperios. Existen shunts de diferentes relaciones de valores; como sea, siempre traen grabado en un costado sus condiciones de operación. (100 A 100 mV por ejemplo).

La llamada "Punta de prueba" no es más que uno o dos tramos de cable -- (para reducir resistencia) soldados al ducto por medio de soldadura Cadweld (un cable doblado en dos y soldado). El otro cable soldado ahí mismo es el que sirve como polo común en la medición de potencial tubo/suelo. Cable calibre número 8 es usado comúnmente en estas conexiones.

La medición de potencial tubo-suelo, se realiza en forma sencilla únicamente conectando el voltímetro a usar con su polo positivo hacia la conexión con la media celda de referencia y el polo común (-), al cable soldado al -- ducto precisamente para este fin; Las conexiones deben presentar facilidad para medir el potencial a diferentes distancias del ducto en estudio, con lo que se tendrán valores de potencial tanto en posiciones cercanas, como en -- posiciones remotas ( 6 metros o más), en caso de que dichos valores se de--- seen tomar.

El borne positivo (viva) de la fuente se conecta a la cama o dispositivo de tierra por medio de un tramo de cable que puede variar entre calibre No. 00 a 04 dependiendo de la cantidad de corriente que se espere manejar (el 00 es más grueso).

El dispositivo de tierra propiamente, consiste de una extensión de 75 me tros de largo formado de papel aluminio y conectada al cable que va a la máquina por medio de un arrollamiento de 2 a 3 metros de largo del aluminio so bre el cable desnudo en esa parte y amarrada con alambre de cobre delgado -

por la parte exterior para lograr mejores condiciones de contacto.

De este mismo tipo de cable grueso es la conexión eléctrica que une a la punta con el borne negativo de la fuente.

El dispositivo de tierra, de aluminio, se coloca a lo largo de la rivera de un arroyo localizado a 30 metros aproximadamente de distancia del ducto. Sumergido el papel aluminio en el fondo del arroyo, sostenido con piedras -- o cualquier otro objeto, para evitar que flote, lo cual es su tendencia natural.

Es común también regar a lo largo del dispositivo de tierra, cierta cantidad de sal común, con lo que se pretende mejorar las condiciones de conductividad eléctrica en la zona.

Este arreglo como puede verse, es adecuado para el caso de que no se cuenta con un aparato multicombinado el cual integra el medidor de corriente tanto como el de potencial en un mismo equipo, para lo cual las conexiones, no dejan de ser las mismas que las mostradas, solamente habría que prolongar las conexiones del shunt y la celda, hasta la posición escogida para el multicombinado. Este aparato proporciona el control inmediato de variaciones -- de las variables manejadas en la prueba de requerimiento de corriente. De -- cualquier forma en caso de no contar con un equipo multicombinado, la prueba puede realizarse mediante el uso de un multímetro de calidad, de alta resistencia.

La dirección del flujo de la corriente eléctrica, se entiende que sigue el siguiente camino: Sale del borne positivo hacia el dispositivo de tierra donde se dispersa a través del terreno hacia el ducto en estudio, atraída -- por la polaridad negativa del mismo, conectado al borne de mismo signo de la fuente (-), con lo cual se cierra el circuito eléctrico.

Debe notarse que la posición de la media celda de referencia está del lado opuesto a la del dispositivo de tierra o cama anódica, para cumplir con el arreglo "Fuente-Estructura a proteger-Media Celda", en ese sentido que se establece en este tipo de circuitos.

El siguiente diagrama No. 2 indica con claridad la polaridad ya sea positiva o negativa de los puntos de interés durante la prueba de corriente, el cual puede ayudar a aclarar dudas al respecto, especialmente en lo que a conexión de aparatos se refiere.

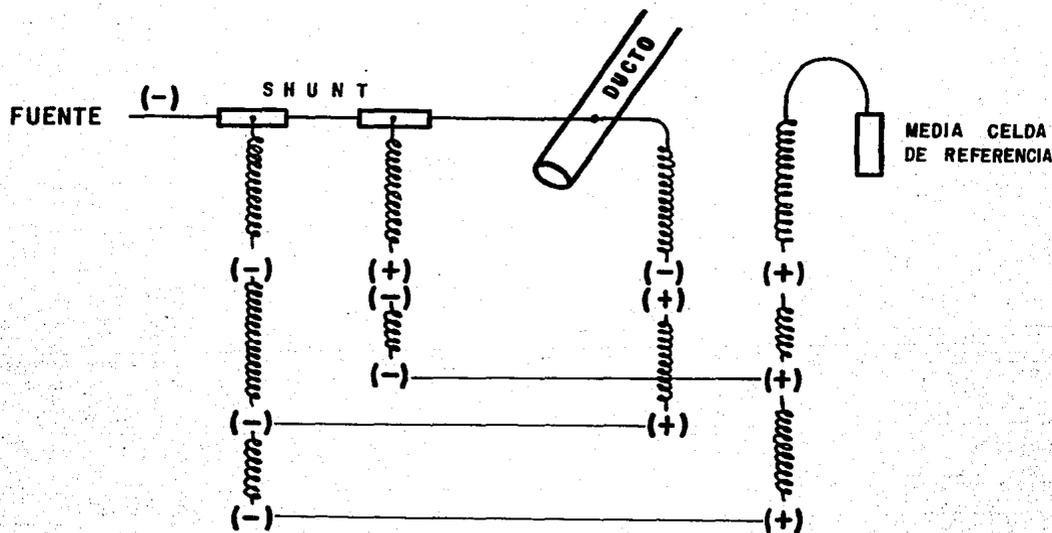


Diagrama de conexiones No. 2.

Se desprende del mismo diagrama que: la celda respecto del ducto en estudio es positiva por lo que la conexión del voltímetro será (+) a la celda - y (-) al ducto, el cual a su vez se comporta positivamente respecto del primer borne del derivador de corriente (-), pero el cual a su vez es positivo

respecto del segundo borne del mismo shunt; por lo cual se entiende que el - milivoltímetro conectado en ese punto tendrá conectado su polo negativo en - el borne del shunt que da hacia la máquina y el positivo, consecuentemente - en el borne que da hacia el ducto. El mismo razonamiento se sigue para las demás posibilidades marcadas en el diagrama, aunque no tengan uso práctico - durante la prueba.

El siguiente diagrama No. 3 muestra el tendido del ducto de 12" de diámetro objeto de la prueba desde el cabezal "Bellota" al pozo "Eden", así como los principales accidentes topográficos y la localización del dispositivo - anódico y la punta de prueba o punto de drenaje; se muestran también los potenciales tubo-suelo "naturales" en ambos lados del ducto y en una curva de expansión (omega), antes de proceder a la prueba propiamente dicha.

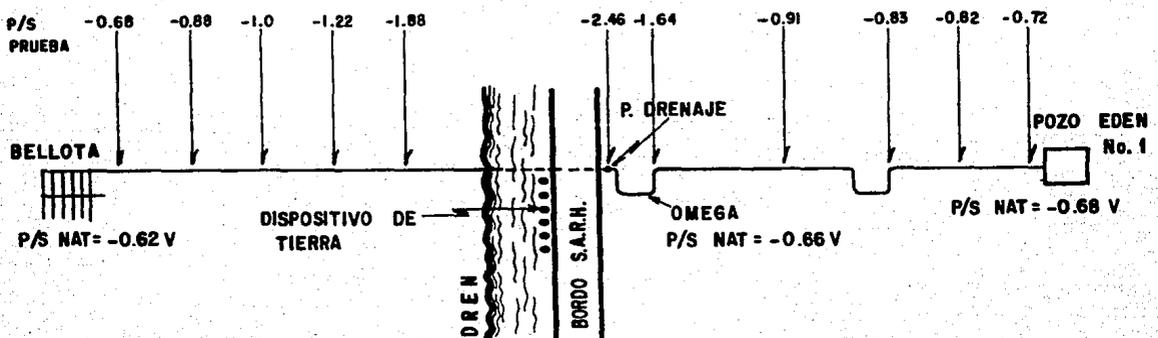


Diagrama No. 3

Resistividad del terreno en el  
 área del dispositivo de tierra,  
 dentro del dren S.R.H.(arroyo)

A 5 pies 3 Pulg = 2 480 Ohm-cm

10'6" = 2 760 Ohm-cm

La resistividad eléctrica del terreno se determinó por medio de un aparato Medidor de Resistencia de Suelo marca "Nilsson" modelo 400, usando 4 varillas de acero inoxidable en forma de "T" para facilitar su introducción en el terreno a unos 30 ó 40 cm de profundidad, para lo cual poseen una terminación en forma de punta y espaciadas en línea recta 5 pies 3 pulgadas para la primera determinación y 10 pies 6" para una segunda prueba; conectadas a su vez con el aparato por medio de un cable conductor eléctrico recubierto y flexible del número 10 u 8, tal como se indica en el diagrama no. 4.

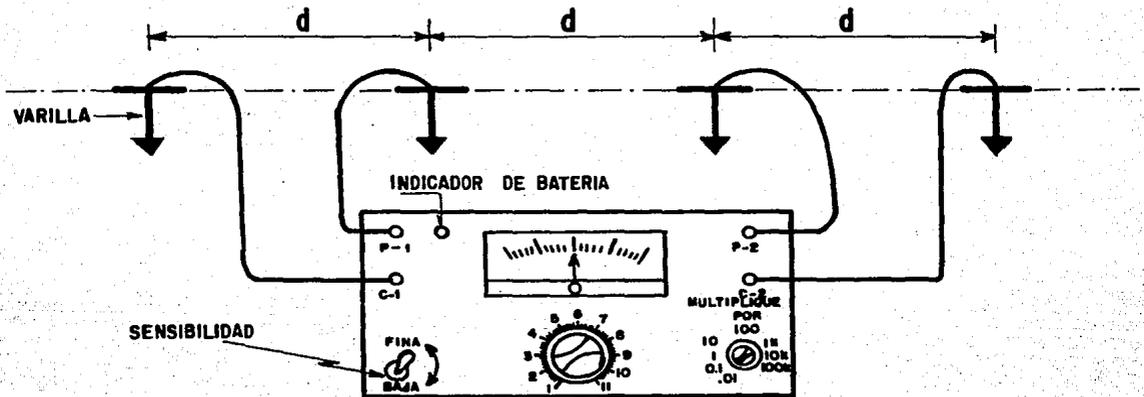


Diagrama de conexiones No. 4

El aparato cuenta con dos conexiones de prueba  $P_1$  y  $P_2$  dos conexiones de corriente  $C_1$  y  $C_2$ ; Indicador de baterías; carátula con aguja indicadora para equilibrar la corriente, con tornillo de ajuste; Botón de paso para sensibilidad alta y baja; Reostato graduable de 0 a 11 ohmios y Perilla de pasos desde 0.01 a 100 K.

Además el aparato maneja dos constantes, a saber: Una con valor de 1 000 unidades cuando se trabaja con 5' 3" y la otra de 2000 para valores de 10' 6".

Cuando no se tiene idea de cual puede ser el valor de resistividad del terreno, la perilla chica de "Multiplique por" se coloca en lo más alto de la escala, o sea 100 K (100 000 ) y se procede a equilibrar la aguja de la carátula en el centro de su escala graduada, haciendo girar de 0 a 11 la perilla grande marcada con "Ohms"; de no detectarse desviación de la aguja, entonces se procede a cambiar la perilla chica a la siguiente escala o valor inmediato inferior, o sea 10 K (10 000); y así sucesivamente hasta que se logre detectar desviación de la aguja. En este punto se procede entonces a equilibrar exactamente en el centro la aguja de la carátula con la perilla grande.

Por ejemplo: Para equilibrar la aguja, la perilla chica indicaba su posición en "Multiplique por 1" y la grande quedó en 1.2 "Ohms", entonces para 5 pies 3" de separación de las varillas, el valor de resistividad será:

$$R = (\text{Valor escala OHMS}) (\text{Valor Constante}) (\text{Valor Escala "multiplique por"})$$

$$R = (1.2) (1 000) (1) = 1 200 \text{ Ohm-cm.}$$

Estando encendido y conectado el aparato debe tenerse precaución de no tocar las conexiones  $C_1$  y  $C_2$  para evitar descargas eléctricas. La operación se logra, actuando el botón de Sensibilidad al mismo tiempo de girar perillas y equilibrar la aguja.

Notas de la prueba: Este ducto maneja una producción con temperatura aproximada de 80-90 grados centígrados.

- Como dispositivo de tierra se utilizaron 5 rollos de papel aluminio de 0.6 m de ancho por 15 m de largo c/u.

- Se hizo excavación para punto de drenaje a 20 m del Bordo de la Secre-

taría de Recursos Hidráulicos, hacia el pozo petrolero Edén No. 1.

10:00 Hrs En operación máquina de soldar (fuente)

10:30 Hrs: Potencial tubo/suelo en punto de drenaje = -2.80 v

Intensidad registrada = 48.0 Amps

Voltaje registrado = 47.0 Volts

Se mantuvo este P/S en el P/D durante 1 hora, con el objeto de acelerar la polarización de la línea en estudio.

11:15 Hrs Se ajustó el potencial tubo/suelo en el punto de drenaje a -2.42 voltios.

DATOS REGISTRADOS EN EL PUNTO DE DRENAJE

<u>HORA</u>	<u>P/S (Volts)</u>	<u>I (amps )</u>	<u>V (Volts)</u>	<u>OBSERVACIONES</u>
11:15	- 2.42	45.0	37.5	Celda Cu/CuSO <sub>4</sub> colocada a 10 m de la línea
11:40	- 2.45	45.0	37.0	de 12" Ø lado contrario al disp. tierra.
12:30	- 2.43	45.0	35.8	
13:00	- 2.42	42.6	36.8	
13:30	- 2.42	43.2	36.4	
14:00	- 2.42	42.6	35.6	
14:30	- 2.40	42.8	36.6	Resistencia del circuito 0.82 Ohms.
15:00	- 2.45	42.8	36.6	
15:30	- 2.46	43.2	37.8	
16:00				Se paró máquina. (fuente).

Levantamiento de P/S durante la prueba.

- 11:25 Hrs P/S en la Curva de Expansión (omega) = -1.64 v.  
(a 150 m del P.D. hacia Edén 1).
- 13:40 Hrs P/S en Válvula de seccionamiento 12" Ø frente al pozo Edén  
No. 1 = -0.72 volts.
- 13:50 Hrs P/S en el primer Poste de Registro - sin marca de km del -  
pozo Edén 1 hacia Bellota = -0.82 volts.
- 14:05 Hrs P/S en omega próxima a poste de registro No. 1, de Edén --  
hacia Bellota. = -0.83 v.
- 14:20 Hrs P/S en poste de registro No.2, de Edén hacia Bellota -  
= -0.91 v.
- 13:45 Hrs P/S en el Cabezal de pozo Bellota = -0.68 v.
- 14:00 Hrs P/S a 200 m del cabezal de Bellota hacia Edén = -0.70
- 14:15 Hrs P/S a 700 m del cabezal Bellota hacia Edén en poste de re  
gistro = -0.88 volt.
- 14:40 Hrs P/S a 1 200 m del cabezal Bellota hacia Edén, en poste de  
registro = -1.00 v.
- 15:05 Hrs P/S a 1700 m del cabezal de Bellota hacia Edén, en poste  
de registro = -1.22 v.
- 15:30 Hrs P/S a 300 m del P.D. en poste de registro a 2 200 m de -  
Bellota hacia Edén = -1.88 voltios.

## 12.2.- PRUEBA DE REQUERIMIENTO DE CORRIENTE No.2

PRUEBA DE REQUERIMIENTO DE CORRIENTE PARA OBTENER DATOS DE DISEÑO DE LA PROTECCION CATODICA DEL DUCTO 12" Ø QUE VA DEL POZO PETROLERO EDEN No. 1 A LA BATERIA DE SEPARACION "CARDENAS NORTE".

El siguiente diagrama No. 5, muestra el tendido del ducto objeto de la prueba de corriente, así como los principales accidentes topográficos y la localización del dispositivo anódico, postes de registro, punta de prueba, etc.

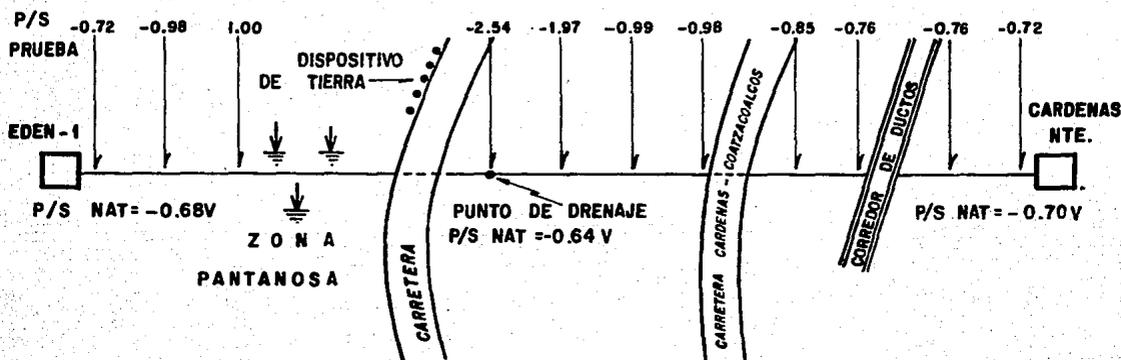


Diagrama No. 5

- Notas:
- 1) Este ducto maneja una producción con temperatura de 80-90°C.
  - 2) Como dispositivo de tierra se utilizó, 5 rollos de papel aluminio comercial de 0.6 m de ancho x 15 m de largo c/u.
  - 3) Se hizo excavación para P.D. a 10 m de la carretera Cárdenas-Ingenio (al inicio de pista de aterrizaje particular).

Resistividades en el área señalada para el dispositivo de tierra, a orilla del pantano adyacente a la carretera.

A 5'3" = 1200 Ohm-cm

A 10'6" = 1060 Ohm-cm

10:20 hrs En operación "Fuente de corriente" (máquina de soldar)

10:45 hrs P/S en el P.D. = -2.47 volts.

I = 51.0 Amps (shunt 100 Amp- 50 mV)

V ( de la máquina) = 30.5 volts

Resistencia del circuito:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{30.5}{51.0} = 0.59 \text{ Ohms}$$

DATOS REGISTRADOS EN EL PUNTO DE DRENAJE

<u>HORA</u>	<u>P/S en P.D. (volt)</u>	<u>I (amp)</u>	<u>V (volt)</u>	<u>OBSERVACIONES</u>
12:00	- 2.40	47.8	29.3	Se ajustó P/S en
12:30	- 2.54	52.6	36.3	P.D. = -2.51 v.
13:00	- 2.54	52.6	36.3	I = 51.4 Amps.
13:30	- 2.53	50.8	32.3	V = 31.0 volts
14:00	- 2.52	50.8	32.4	
14:30	- 2.53	50.6	32.4	
15:00	- 2.52	50.4	32.2	
15:30	- 2.50	49.4	31.6	
16:00	- 2.50	49.3	31.5	
16:30				Se paró máquina.

## Levantamiento de P/S durante la Prueba

- 13:30 hrs P/S a 150 m del Punto de Drenaje. Primer Poste de registro a partir del P.D. hacia la Bateria de Separación Cárdenas Norte = -1.97 volts.
- 14:05 Hrs P/S = -0.76 en poste de registro localizado sobre el derecho de vía (D.V.), del Sistema Troncal de Ductos Pemex -- cuyo acceso es por debajo del puente en construcción -- aproximadamente a 2.5 km de carretera federal Cárdenas hacia Coatzacoalcos.

NOTA: En este punto existe un rectificador de Pemex, instalado pero fuera de operación; se recomienda puentear electricamente la tubería en estudio, al Sistema Troncal de Ductos.

- 14:10 hrs P/S en poste siguiente hacia el P.D. en Cárdenas, Tab. = -.076 v.
- 15:05 hrs P/S en poste de registro siguiente hacia el P/D en Cárdenas = -0.85 v.
- 15:20 hrs P/S en poste siguiente a punto de drenaje en Cárdenas = - 0.98 v.
- 15:40 hrs P/S en el Poste siguiente localizado a 1 km del anterior. = -0.99 v.

NOTA: Los Postes de Registro y Amojonamiento, se localizan cada kilómetro sobre el derecho de vía de la tubería de 12" Ø pero no tienen marcado el kilometraje y la referencia de localización del ducto.

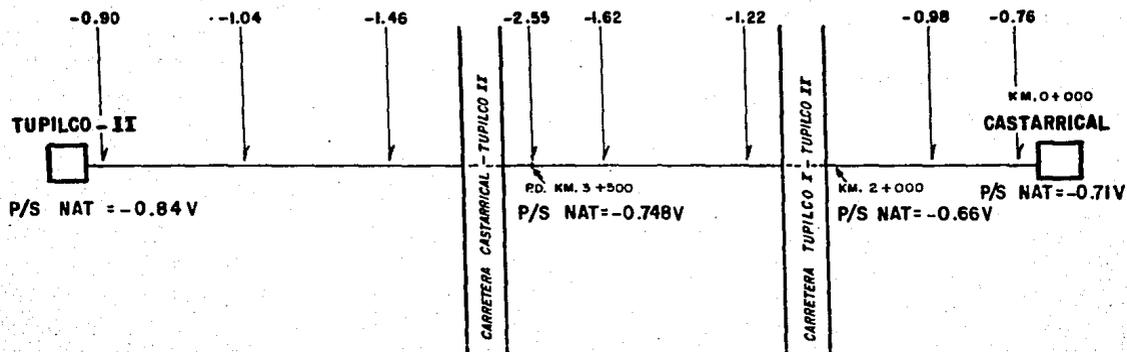
Potenciales entre P.D. y Edén No. 1.

- 14:40 hrs P/S = -0.72 v en Edén 1
- 14:15 hrs P/S = -0.98 v a 1 km hacia el P.D.
- 14:30 Hrs P/S = -1.00 v a 2 km hacia el P.D.

## 12.3.- PRUEBA No. 3

PRUEBA DE REQUERIMIENTO DE CORRIENTE PARA OBTENER DATOS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA DE DUCTOS DE 10 Y 20" Ø QUE VAN DE TUPILCO II A CASTARRICAL DISTRITO PETROLERO COMALCALCO, PEMEX. ZONA SURESTE.

El siguiente diagrama No. 6, muestra el tendido de los dos ductos objeto de la prueba.



- NOTAS:
- 1) Se tuvieron problemas de afectaciones en el lugar previamente señalado para el punto de drenaje; por lo que se hizo necesario modificarlo dentro de la misma área.
  - 2) El dispositivo de tierra constituyó de 5 rollos de papel aluminio.
  - 3) El dispositivo de tierra se instaló a 65 m de las líneas, en la orilla de un arroyo y perpendicular a las tuberías.

Resistividades en el área de instalación del dispositivo de tierra.

05' 3 " = 1 600 Ohm-cm
10' 6 " = 1 600 Ohm-cm

NOTA: Estos ductos manejan una producción de 30-40<sup>0</sup> C.

13:45 hrs      En operación Máquina de Soldar (fuente de corriente)  
 P/S en P/D = -2.43 volts.  
 V Máquina = 53.2 volts.  
 I = 102.0 Amps

14:45 hrs      Se ajustó máquina de soldar a:  
 P/S en P.D. = -2.55 v  
 V Maq. = 58.4 v  
 I = 112.4 Amps

DATOS REGISTRADOS EN EL PUNTO DE DRENAJE

<u>HORA</u>	<u>P/S en P.D. (volt)</u>	<u>I (amp)</u>	<u>V (volt)</u>	<u>OBSERVACIONES</u>
13:45	- 2.43	102.0	53.2	
14:00	- 2.40	100.0	53.0	
14:45	- 2.55	112.4	58.4	Se ajustó maq.
15:00	- 2.48	106.6	56.4	
15:30	- 2.53	106.6	57.4	
16:00	- 2.50	104.8	57.2	
16:30	- 2.48	102.8	56.2	
17:00				Se bajó velocidad maq. y se puso f. o. (fuera de operación)

Relación de potenciales tomados a lo largo de las tuberías durante la aplicación de corriente.

15:15 hrs      P/S en km 0 + 000 = -0.76 v (castarrical)

NOTA: Se investigó que cruzan 3 líneas de tuberías a las líneas objeto de este estudio, en un lugar cercano al punto de drenaje. (Se recomienda -- puentearlas al sistema).

15:35 hrs P/S = -1.13 v en la terminación de la línea de 10" de diámetro. Referencia: Trampa de Diablos e inicio de Oleoducto 10" Ø Castarrical -Dos Bocas.

NOTA: La línea de 10" Ø no tiene continuidad, ya que termina en un -- tapón. No está conectada a la trampa de diablos.

15:55 hrs P/S en km 1 + 000 = -0.98 v (posible falso contacto eléctrico bajo tierra).  
 16:25 hrs P/S km 2 + 000 = -1.22 v  
 16:45 hrs P/S km 3 + 000 = -1.62 v  
 15:10 hrs P/S km 5 + 300 = -0.90 v. En Cabezal Estación de Compresión Tupilco II.  
 16:15 hrs P/S km 4 + 000 = -1.46 v  
 15:15 hrs P/S km 5 + 000 = -1.04 v

NOTA: A un costado de la carretera pavimentada aproximadamente a 3 m de distancia tiene desarrollo una tubería de 6" Ø a 25 m del punto de drenaje, dicha tubería cruza perpendicularmente las tuberías de 10 y 20" Ø. Se tomaron potenciales P/S de esta línea durante la prueba, siendo los siguientes:

16:40 hrs En poste marcado km 4 + 000 de la misma línea de 6" Ø -  
 P/S = - 1.06 v

15:00 hrs En poste marcado km 5 + 000 P/S = -1.16 v

NOTA: Se recomienda puentear esta línea a las de 10 y 20 " Ø.

## 12.4.- PRUEBA No. 4

PRUEBA DE REQUERIMIENTO DE CORRIENTE PARA OBTENER DATOS DE DISEÑO DE LA PROTECCION CATODICA DE LOS DUCTOS DE 8, 10 Y 20" Ø COMPREDIDOS ENTRE GOLPE II Y TUPILCO II.

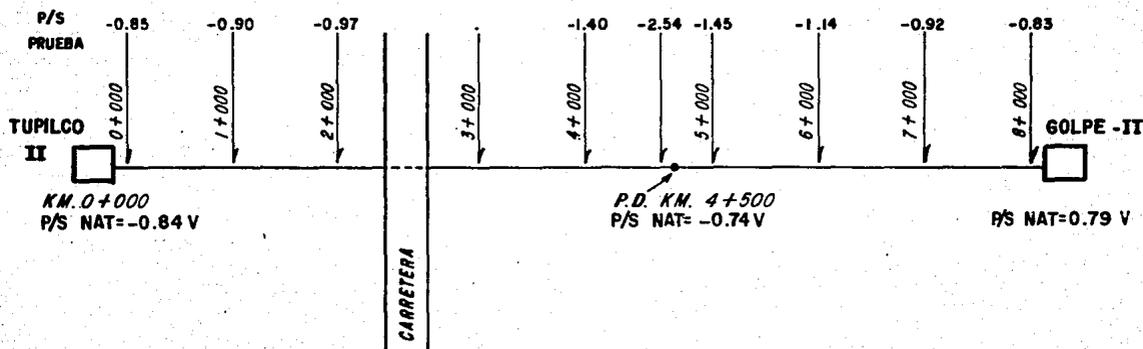


Diagrama No. 7

Potenciales Naturales en km 8 + 000 (Batería Golpe II)

Sobre ducto 20" Ø = - 0.77 v.

Sobre ducto 8" Ø = - 0.69 v.

Sobre ducto 10" Ø = - 0.77 v.

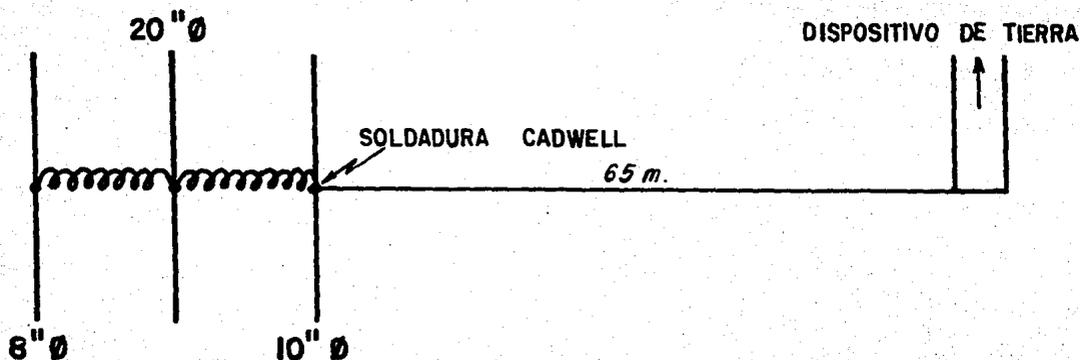
- NOTAS:
- 1) En el área de la Estación de Compresión Tupilco II, se observó un potencial predominante (natural) superior a 0.80 volts. Se ignora su procedencia.
  - 2) Estos ductos manejan producción fría entre 30-40°C.
  - 3) Se hizo excavación y se puentearon tuberías con cable eléctrico calibre número 8.
  - 4) Como dispositivo de tierra se utilizó: 5 rollos de papel -- aluminio de 15 m de long. c/u.

Resistividades en el área del dispositivo de tierra localizado a 65 m de las tuberías:

5'3" = 1 200 Ohm-cm.

10'6" = 1 740 Ohm-cm.

Diagrama No. 2. Puenteo de las líneas.



Resistividades del circ = 0.64 Ohms. P/S Nat en P.D. km 4 + 500 = -0.74 v.

11:45 hrs En operación máquina de soldar  
 12:15 hrs Se ajustan condiciones en P. de Drenaje  
 12:15 hrs. P/S en P.D. = -2.45 v  
                   I = 73.0 Amp  
                   V = 47.0 Volt

Levantamiento de P/S sobre las tuberías durante la aplicación de la -- corriente.

14:45 hrs P/S = - 1.45 v ( km 5 +000)  
 15:30 hrs P/S = - 1.14 v ( km 6 +000)  
 16:00 hrs P/S = - 0.92 v ( km 7 +000)

16:10 hrs	P/S = - 0.83 v	( km 8 +000) Batería Golpe II, sobre ductos 8 y 20" Ø .
16:25 hrs	P/S = - 0.80 v	En batería Golpe II línea 10" Ø.
14:30 hrs	P/S = - 0.85 v	( km 0 +000) Trampa Tupilco II.
15:15 hrs	P/S = - 0.90 v	( km 1 +000)
15:25 hrs	P/S = - 0.97 v	( km 2 +000)
		( km 3 +000) Inundado
17:00 hrs	P/S = - 1.40 v	( km 4 +000).

DATOS REGISTRADOS EN EL PUNTO DE DRENAJE

<u>HORA</u>	<u>P/S en P.d. (volt)</u>	<u>I (amp)</u>	<u>V (volt)</u>	<u>OBSERVACIONES</u>
11:15	- 2.54	73.0	47.4	
12:30	- 2.52	75.8	47.8	
13:00	- 2.52	70.8	46.4	
13:30	- 2.38	64.6	42.5	
13:40	- 2.60	74.6	45.6	
14:00	- 2.55	72.8	48.6	
14:30	- 2.81	82.4	56.5	
15:00	- 2.58	75.0	51.2	
15:30	- 2.72	79.2	53.4	
15:40	- 2.58	73.2	50.4	Se ajustó máquina.
16:00	- 2.58	75.0	50.6	
16:30	- 2.58	73.2	51.8	
17:10				Paró máquina.

## 12.5.- DISEÑO PARA UN RECTIFICADOR DE CORRIENTE

### Características:

Amperaje.- Es un dato de la prueba de corriente.

Voltaje.- De salida del rectificador:

Se determina por la fórmula.

$$V = R_t I + P/S + 0.9 \text{ pot.graf.} - 0.34 \text{ pot.Cu/CuSO}_4$$

De donde:

V = Voltaje a averiguar

I = Intensidad de la corriente requerida en Amperios (dato conocido).

$R_t$  = Resistencia total del circuito en Ohmios

De donde:

$$R_t = R_c + R_e + R_g$$

$R_c$  = Resistencia de los cables del circuito. Ohms

$R_e$  = Resistencia de la estructura Ohms.

$R_g$  = Resistencia del dispositivo de tierra que será empleado (normalmente, barras de grafito "g").

Este dispositivo consiste en una serie de ánodos de grafito, enterrados y radiados de un empaque de coque triturado, lo cual constituye el electrodo positivo del sistema.

$$R_g = \frac{Ra F}{N}$$

Donde:

N = Número de ánodos

F = Factor de corrosión. Este factor está en función del número de ánodos y de la distancia a que se coloque uno del otro. Se calcula de acuerdo a la gráfica referida (Cathodic Protection Service)

R<sub>a</sub> = Es el valor de la resistencia de un simple ánodo del grupo y está en función de la resistividad del suelo.

$$R_a = \frac{\rho K}{1000}$$

Donde:

$\rho$  = Resistividad del suelo Ohm-cm

K = Para ánodos de 80" de long. tiene los siguientes valores en ohms, de acuerdo al diámetro.

$\emptyset$	K
2"	0.24
3"	0.22
4"	0.20
6"	0.17

Para seleccionar el número de ánodos y la capacidad del rectificador más conveniente, deberá calcularse el número de ánodos y la capacidad que resulte con costos más bajos por año.

Para calcular estos costos es necesario conocer lo siguiente:

10.- La cantidad de energía eléctrica consumida por el rectificador se calcula por:

$$W = V_t I$$

Donde:

$W$  = Watts consumidos por el rectificador

$V_t$  = Voltaje total de salida del rectificador

$I$  = Corriente requerida en Amperios.

El costo de la Cama Anódica, se calcula de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$C_g = N C_a$$

Donde:

$C_a$  = Costo por ánodo instalado

$N$  = Número de ánodos

El costo del Rectificador se calcula de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$C_r = 4250 + 2.6 W$$

Donde:

4250 y 2.6 son constantes

$W$  = Cantidad de watts

La amortización por año, se calcula de la siguiente forma:

$$A_m = \frac{2 C_t}{N}$$

Para  $N$  con valor a 10 años,

$C_t$  = costo total (ánodos + rectificador)

El costo de Operación Anual se calcula de la siguiente forma:

$$C_o = \frac{W (24 ) (365) \text{ Kwh}}{\text{Ef.} \cdot 1000}$$

W = Watts      Kwh = consumo (kilowatt-hora)

Ef= Eficiencia (0.6 - 0.8)

El número de ánodos con el menor costo por año, se tomará para la instalación, aunque el rectificador tenga mayor capacidad.

Selección del número óptimo de Anodos de Grafito.-

Se cumple aquí el que, a mayor cantidad de ánodos, menor resistencia - del circuito; con un menor consumo de energía durante la operación pero con una mayor inversión inicial.

El número óptimo a saber será:

$$A = 0.0216 \left( \frac{X}{Y + Z} \right) \text{ ef.}$$

Donde:

A = número óptimo de ánodos

$$X = R I^2 ( F C_r + 14.6 C_e )$$

$$Y = F ( C_a + T )$$

$$Z = \frac{1}{5 S} ( F C_r + 14.6 C_e )$$

Donde:

R = Resistividad del terreno

I = Intensidad de corriente

$F$  = Factor de amortización (taza de 15% a 10 años = -  
0.1992).

$C_r$  = Costo unitario del rectificador (aprox. 530-700 -  
\$/watt)

$C_a$  = Costo por ánodo

$C_e$  = Costo de energía eléctrica (59-70 \$/kw-h)

$S$  = Sección recta del cable de cobre (AWG No. 4 = 21.15mm<sup>2</sup>)

## 12.6.- EJEMPLOS PRACTICOS DE DISEÑO EN RECTIFICADORES. Ejemplo No. 1

DISEÑO DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA A OLEOGASODUCTO DE CABEZAL BELLOTA A CABEZAL CARDENAS NORTE DISTRITO COMALCALCO, TABASCO, PEMEX.

Datos de Campo:

Resistividad del terreno = 1 000 ohm-cm

P/S antes de la prueba = 0.56 volts

P/S durante la prueba = 2.5 volts

Intensidad de la fuente = 17 amps

Diferencia de voltaje de la fuente = 28 volts

Potenciales tubo-suelo detectados a lo largo de la línea durante la prueba de corriente:

	<u>Km</u>	<u>P/S</u>	
	0	- 0.85 v	<u>BELLOTA</u>
	1	- 0.95	
	2	- 1.05	
	6	- 1.69	
Punto d/drenaje	6.219	- 2.50	DISTANCIA PROTEGIDA
	7	- 1.52	
	8	- 1.22	
	9	- 1.06	
	10	- 0.98	
	11	- 0.85	
	12	- 0.64	
	13	- 0.60	<u>CARDENAS</u>

Puntos 12 y 13, reforzar con ánodos de magnesio.

$$\text{Volt}_{\text{rect}} = R_t I + \text{P/S (punto de drenaje)} + \text{P/S (grafito)} - \text{P/S Electrodo Cu/CuSO}_4$$

$$\text{Volt}_{\text{rect}} = R_t I + 2.5 + 0.9 - 0.34$$

$$\text{Volt}_{\text{rect}} = R_t I + 3.06$$

$$R_{\text{disp. a tierra}} \text{ ó grupo de ánodos} = \frac{R_{\text{de un ánodo}} \cdot \text{Factor de Agrupamiento}}{\text{Número de ánodos}}$$

$$R_{\text{de un ánodo}} = \frac{\text{Resist. del suelo}}{1000} \times 4.3 = 4.3$$

Donde: 4.3 es un factor para ánodos de grafito de 3 x 60" y la resistividad = 1 000 ohm-cm

El factor de agrupamiento es 1.12 para grupos de 10 ánodos - con distancia entre ánodos de 30" (tablas).

$$R_{\text{disp. a tierra}} = 0.48 \quad R_t = 0.78 \quad \text{Volt}_{\text{rect}} = 16.32$$

$$\text{Volt. Real} = 16.32 + 50\% = 24.48 \text{ v}$$

$$I_{\text{real}} = 17 + 50\% = 25.5 \text{ Amp}$$

Se seleccionó un rectificador para 50 volt-50 Amp previendo futuras -- instalaciones en el área y eficiencia de 60%.

Diseño de rectificadores. Ejemplo No. 2

## Datos:

P/S en punto de drenaje = 2.30 v I = corriente aplicada = 33 Amp -  
 $V_g$  = Voltaje generado = 62 volts  $R_c$  = Resistencia del circuito = 1.8 ohms  
 $\rho$  = Resistividad cama anódica = 800 ohm/cc L = distancia de la tierra al  
 punto de drenaje = 100 m.  $V_t = R_t I + P/S + 0.9 - 0.34$ ;  $R_t = R_{\text{cable}} + R_{\text{cir-}}$   
 $\text{cuito} + R_{\text{grafito}}$ .

Resistencia del cable calibre No.4 = 0.8153 ohm/km. Para 100 m es =  
 0.081 ohm;  $R_{\text{circuito}} = 1.8$  ohm;  $R_g = 0.20$  ohm. La resistencia del grafito,  
 para ánodos de 3 x 60" en una resistividad de 800 ohm/cc;  $R_g = \frac{800}{1000} \times 4.3 =$   
 3.44 ; Factor de corrección de las curvas para una cama de 20 ánodos a una  
 distancia de 30' c/u da = 1.22 por lo tanto  $R_g = \frac{3.4}{20} \times 1.22 = 0.20$  ohm; -  
 $R_t = 0.081 + 1.8 + 0.20 = 2.08$  ohm.

$$V_t = (2.08 \times 33) + 2.30 + 0.9 - 0.34 = 71.50 \text{ v.}$$

Margen de seguridad del 20% en voltaje y amperaje:

$V = 71.50 + 20\% = 85$  v;  $I = 33 + 20\% = 39.6$  amp. Por lo tanto usar rectifi-  
 cador de 100 volt 50 amp, como posteriormente habrá necesidad de mayor co-  
 rriente por otras tuberías proteger; seleccionar un rectificador de 100 v -  
 75 amp.

Diseño de rectificadores. Ejemplo No. 3

## Datos:

P/S = 2.5 v. I = 46 amp.  $V_g = 32$  v.  $R_c = 0.650$  ohm.  $\rho = 1100$  ohm/cc  
 L = 60 m.

$V_t = R_t I + P/S + 0.9 - 0.34$  donde:  $R_t = R_c + R_{\text{circ}} + R_{\text{grafito}}$  La resistencia del cable No. 4 = 0.8153 ohm/km p/60m = 0.48 ohm;  $R_g$  para ánodos de 3 x 60 " de long a 1100 ohm/cc de resistividad,  $R_g = \frac{1}{1000} \times 4.3 = 4.73$  Factor de corrección p/20 ánodos a 30 ft de distancia = 1.22, por lo tanto  $\frac{4.7}{20} \times 1.22 = 0.28$  ohms;  $R_t = 0.048 + 0.65 + 0.28 = 0.978$  ohm;  $V_t = (0.978 \times 46) + (2.5 + 0.9 - 0.34) = 47.98$  v + 20% de seguridad = 57.5 v.  $I = 46 + 20\% = 55.2$ . Por lo tanto se instala rectificador de 75 v 75 amp por posible instalación de otras líneas a proteger en la misma zona de influencia.

#### Diseño de rectificadores. Ejemplo No. 4.

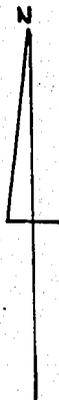
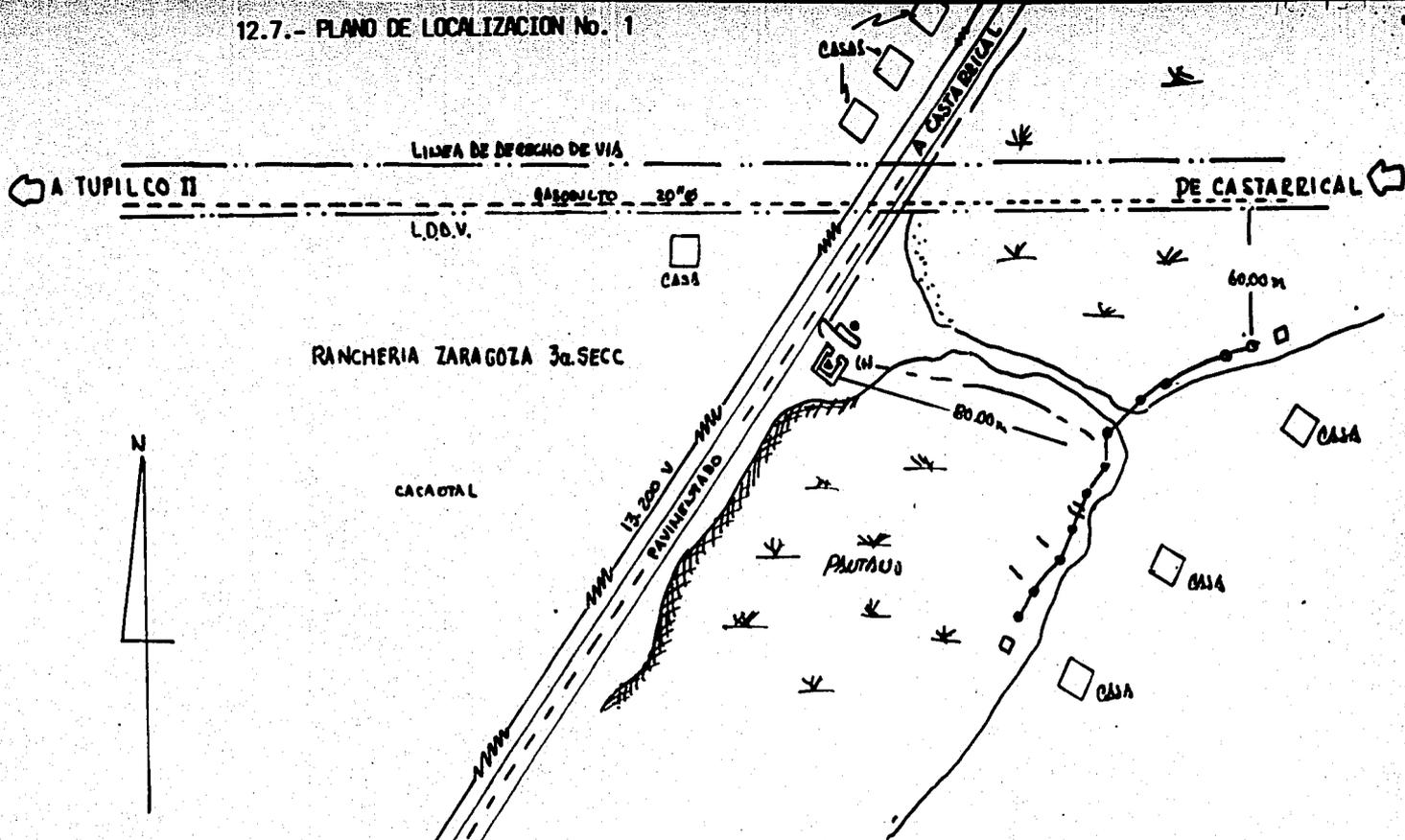
##### Datos:

Long. protegida = 22 km. Resistividad en punto de drenaje = 2 500 ohm-cm. Tensión de corriente alterna disponible = 2 400 volts. Localización del P.D. = 2.078 km del inicio del ducto. Potencial en el P.d. = 2.5 v. Corriente requerida = 45 amp. Corriente de diseño = 70 amp. Anodo durichlor 51 tipo M 57 lb de 2 x 60" de long. con consumo teórico de 0.75 lb/amp-año. Vida útil requerida = 10 años. Número mínimo de ánodos de diseño =  $\frac{Id.N.Eq}{W} = \frac{70 \text{ amp} \times 10 \text{ años} \times 0.75 \text{ lb/amp-año}}{57 \text{ lb}} = 9.21$ .

Resistencia a tierra de un ánodo = 0.005 x Resistividad = 0.005 x 2 500 ohm-cm = 12.5 ohm. Número óptimo de ánodos = 14 factor de agrupamiento para 14 ánodos con 30 ft de separación = 1.20 .  $R_g = \frac{12.5 \times 1.2}{14} = 1.07$  Cable AWG No. 4 y 250 m, Resistencia del cable = 0.86 ohm/km. Para 250 m = 0.215 ohm. Resistencia a tierra de la estructura = 0.50 ohm.  $R_t = 1.07 + 0.215 + 0.5 = 1.785$ .

Voltaje de salida =  $R_t I = 1.785 \times 70 = 125$  v. Por lo tanto, instalar rectificador monofásico de 70 amp, 125 v. dentro de un cercado de tela ciclón de 2.5 x 2.5 x 2.0 m de altura. Instalar transformador monofásico de 15 KVA, 2400/220-110 v. 14 ánodos enterrados a 3 m y separados 10m.

12.7.- PLANO DE LOCALIZACION No. 1



SIMBOLOGIA

- ⚡ Rectificador
- Poste tipo R
- ◇ Poste tipo RA
- ▣ Caseta de concreto
- Anodo de grafito
- ◐ Subst. elect.
- Poste de la luz
- Cable conductor
- Línea elect. AT.
- - - - - Tubo condut.
- - - - - Tubo existente
- - - - - Tubo en construcción

EJEMPLO DE LOCALIZACION Y DATOS DE DISEÑO PARA UN RECTIFICADOR DE CORRIENTE

TRANS	10 kVA	Kilometraje 3444
VAT	13,200 V	
V.B.T.	220 - 110 V	PROYECTO —
FASFS	2	ESTRUCTURA GALONUETO S.P.
VCD	75 V	DIAM 20" LONG 13.114 KM
ACD	100 A	ORIGEN CASTARRICAL
FUSFS	2	FINAL TUPILCO II - EL GOLPE II
SUPRALL	AIRE	ZONA SUPERSTE
NO ANODOS	24 GRAFITO	LUGAR COMENCERAS
RESERV	720 CMM-CM	FECHA —
ESPACIAM	10 M.	

NOTA. RELLENAR A NIVEL DE CALIJO, EL AREA DE LA CASETA DE PROTECCION AL RECTIF.

PARTE 3

PROTECCION CATODICA DE LINEAS DE TUBERIAS.

## TRABAJOS DE CAMPO Y DISEÑOS.

### 13.1.- INSTRUCCIONES GENERALES

Es necesario hacer una distinción entre tuberías pobremente recubiertas, y tuberías bien recubiertas.

En la primera clasificación estarán comprendidas casi todas las tuberías viejas existentes, las cuales además de las deficiencias del recubrimiento, tienen otras como son:

- Falta de juntas de aislamiento
- Falta de amojonamiento
- Malas condiciones de acceso y tránsito en sus derechos de vía.

Todos estos factores suelen constituir problemas más o menos serios cuando se pretende diseñar un sistema de protección catódica, por lo cual es necesario proceder en forma diferente que cuando se trata de una tubería nueva, proyectada y construida de acuerdo con técnicas modernas, para lo cual se ha tomado en cuenta el asunto del control de la corrosión.

### 13.2.- PROTECCION CATODICA DE TUBERIAS POBREMENTE RECUBIERTAS.

1.- HISTORIA.- Se deberá hacer una recopilación de los siguientes datos:

a) Características de la tubería, longitud, diámetro, servicio (aceite, gas, agua etc), presión de trabajo, espesor de pared, calidad del metal etc).

b) Planos completos y bien acotados.

c) Record de fugas. De acuerdo con antecedentes reportados, anotando localización de las mismas, fechas y motivos o causas probables de las fugas.

d) Datos sobre el tipo, calidad y estado actual del recubrimiento; - estos datos serán puramente estimativos y cuando sea posible, se deberán hacer inspecciones visuales en varios puntos a lo largo de la línea de tubería.

e) Datos sobre otras tuberías o estructuras metálicas próximas, paralelas o que se crucen con la tubería en estudio así como de tuberías ramales o derivadas de ésta.

2.- TRABAJOS DE CAMPO.- En esta sección se incluye lo siguiente:

a) Elaboración de un perfil de resistividades del suelo a lo largo -- de la tubería en estudio.

Este perfil deberá ser trazado en papel semilogarítmico de tres ciclos, tomando el eje logarítmico para las resistividades en unidades de ohm-cm con una amplitud de 100 a 100 000 ohm-cm; y el eje de la escala natural para las distancias.

La determinación de resistividades se hará por el método de los 4 - electrodos, con espaciamentos iguales entre electrodos. Se harán dos determinaciones de resistividad cada 100 metros, con un espaciamento entre electrodos de 5'3" y la otra con 10' 6" (10 pies 6 pulgadas). Las anotaciones -- en el campo se harán en una libreta de tránsito o de nivel, tabulándolas -- en la siguiente forma.

Km	A	B	OBSERVACIONES
----	---	---	---------------

Km.- Kilometraje del punto donde se hacen las determinaciones.

A.- En esta columna se anotarán las resistividades determinadas con espaciamiento entre electrodos de 5'3".

B.- En esta columna se anotarán las resistividades determinadas con espaciamiento entre electrodos de 10' 6".

En observaciones se anotarán referencias de localización, de condiciones especiales del terreno, o cualquier otro dato que pueda ser de importancia en los puntos donde se hacen las determinaciones.

El personal necesario para estas determinaciones es: un técnico, 2 -- cadeneros, 3 peones.

El equipo necesario es: una camioneta, un localizador de tubería, un equipo para medir resistividades (vibroground o similar), una cinta métrica de 50 metros, una caja de herramientas con pinzas, desarmadores, martillo - lima cautín, etc.

El avance promedio de los trabajos de levantamiento de resistividades será de 4 a 8 km diarios, dependiendo de las condiciones del derecho de vía.

#### b) Pruebas de requerimiento de corriente.

El número de estas pruebas se determinará en cada caso de acuerdo con la longitud de la tubería y el estado de su recubrimiento. El objeto de estas pruebas es tener datos suficientes, para estimar con aproximación los porcentajes de área desnuda del tubo y de acuerdo con ello, poder diseñar -- también de manera aproximada un sistema de protección eficiente, es decir, -- cuya falta o exceso de corriente de protección aplicada sea mínima, de tal -- modo que permita después de su instalación hacer ajustes a bajo costo.

También sirven estas pruebas para determinar las atenuaciones de potencial, que nos servirán como base para fijar el espaciamiento entre puntos

de drenaje de la corriente de protección.

Las pruebas de requerimiento de corriente se hacen aplicando corriente a la tubería en puntos convenientes, e investigando el comportamiento del tubo en cuanto a consumo de corriente y atenuación de potenciales de protección. Estas aplicaciones se pueden hacer utilizando diversas fuentes de corriente directa, tales como una máquina de soldar, pilas secas o acumuladores de coche, según sea la demanda de corriente del tubo, tratándose de tuberías pobremente recubiertas, las demandas de corriente, son generalmente altas, por lo cual casi siempre es necesario utilizar una fuente de corriente de capacidad alta, como lo es la máquina de soldar.

El polo negativo del generador, se conecta a la tubería en estudio; y el polo positivo a tierra a través de un dispositivo que permita tener poca resistencia. El circuito se cierra a través del terreno.

Las anotaciones de campo, se harán en una libreta, tabulándolas en la siguiente forma:

A M P E R E S							
Km	Distancia	Hora	p/s	P.D.	Secc 1	Secc 2	Observaciones

km.- Kilometraje del tubo en el punto donde se hace una medición.

Distancia.- Distancia en km del punto considerado en el mismo renglón con respecto al punto de drenaje de corriente.

Hora.- Hora a la cual se hace la medición.

p/s.- Potencial del tubo al suelo, en el punto con el kilometraje -- y la hora anotados.

Amp P.D.- Corriente aplicada en el punto de drenaje a la hora anotada.

Amp Secc 1.- Corriente que se calcula que fluye a través de la sección 1. Se denomina secc 1; a la sección transversal del tubo donde el potencial del tubo al suelo, sea de 1.0 a 1.1. voltios, según se convenga en cada

caso, dicho potencial del tubo al suelo, se anotará en el mismo renglón y en la columna p/s.

Amp Secc 2.- Corriente calculada en la sección 2, la cual es aquella donde el potencial tubo al suelo es de 0.85 o 0.70 voltios según se convenga; este p/s también se anotará en el renglón y columna correspondiente.

La corriente que fluye en las secciones 1 y 2, se calculará tomando en dichas secciones, tramos de la tubería en estudio como shunts, y determinando potenciométricamente, las caídas de voltaje en los extremos de dichos tramos. Conociendo la resistencia metálica del tubo, se puede calcular la corriente que fluye, aplicando la ley de ohm. La longitud de los tramos a través de los cuales se pretende calcular el flujo de corriente, debe tomarse de acuerdo con el diámetro y espesor de pared del tubo, y por lo tanto, de acuerdo con su resistencia por unidad de longitud, de tal modo que permita obtener lecturas de caída de potencial suficientemente grandes ( 2 ó 3 milivoltios como mínimo), para que el cálculo de las corrientes sea suficientemente preciso. La resistencia metálica del tubo cuyo valor necesitamos saber para este mismo cálculo; la podemos determinar muchas veces físicamente y en último caso la podemos estimar con aproximación, sabiendo el diámetro, espesor y material del tubo.

En cada prueba de requerimiento de corriente se deberán hacer las siguientes anotaciones adicionales. Fecha de la prueba, resistividad en el punto de drenaje, resistencia en ohms del circuito empleado, potencial entre los bornes del generador durante la prueba.

Se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- 1.- Distancia mínima del tubo al dispositivo de tierra = 20 metros.
- 2.- Potencial máximo aplicable del tubo al suelo p/s = 2.5 voltios.
- 3.- Tiempo de polarización mínimo, 3 horas con potencial p/s máximo.
- 4.- Anotar el potencial original p/s en el punto de drenaje. O sea antes de aplicar la corriente. (potencial natural).
- 5.- Con los datos obtenidos, se construirán gráficas de p/s contra distancia.

El personal necesario para estas pruebas es: 2 técnicos, 2 cadeneros 3 peones, un soldador de lera, un ayudante de soldador.

Equipo necesario: dos vehículos equipados con radio transmisor-receptor, dos aparatos portátiles radio transmisores receptores, una máquina de soldar, dos multicombinados modelo B-3, un localizador de tuberías, un vibrador con accesorios una cinta de 50 metros, dos carretes de 100 m de cable forrado número 08 cada carrete, un equipo de soldar cadweld, una caja con --herramienta, una estufa portátil de gasolina, picos, palas cavahoyos, depósito de gasolina para la máquina, esmalte, tambor de soldar en agua, etc. Conviene que los vehículos estén equipados con doble tracción y malacate delantero, para facilitar el acceso a malos caminos.

3.- DISEÑO.- Se debe procurar elaborar un diseño de protección catódica simplificado, eficiente y económico.

Hay dos puntos fundamentales que determinar en todo sistema de protección catódica simplificado, eficiente y económico.

I) El número total de puntos de drenaje de corriente

II) La intensidad de la corriente por aplicar en cada punto de drenaje.

Para obtener un diseño simplificado, se debe reducir al mínimo, el número de puntos de drenaje de corriente de protección; es decir, espaciar dichos puntos entre sí lo máximo posible.

Tratándose de tuberías pobremente recubiertas, tenemos limitaciones en cuanto al potencial máximo aplicable en el punto de drenaje, pues si elevamos dicho potencial por encima de 1.0 ó 1.1. voltios, se tienen consumos muy fuertes de corriente de protección ( ó sobre-protección) en las cercanías

de dicho punto de drenaje, bajando mucho la eficiencia de la corriente de protección. Además al elevar por encima del valor citado el potencial en el punto de drenaje, no se logra ampliar considerablemente la distancia protegida de tubería, pues las atenuaciones de potencial en función de la distancia, son mucho mayores para valores altos de potencial tubo-suelo.

Teniendo claro que el potencial óptimo en el punto de drenaje en tuberías pobremente recubiertas, es de 1.0 ó 1.1. voltios, se determinará la longitud que es posible proteger desde dicho punto de drenaje, basándose en las curvas de atenuación (p/s Vs Distancia), resultantes de las pruebas de requerimiento de corriente.

El potencial mínimo de protección será tomado de 0.80 voltios. La longitud que es posible proteger en un sentido determinado, multiplicada por dos, será el espaciamento máximo posible entre puntos de drenaje. Cuando la calidad del recubrimiento sea homogénea, el espaciamento será constante, pero cuando haya valores muy diferentes de área desnuda estimada y consecuentemente para las atenuaciones de potencial, el espaciamento entre puntos de drenaje será variable.

Existiendo limitaciones para el potencial máximo aplicable en el punto de drenaje, resulta inconveniente el uso de rectificadores de corriente, cuya principal ventaja es la de poder proporcionar, corrientes fuertes con potenciales elevados, lo cual resulta muy útil cuando se tiene una tubería muy bien recubierta, donde la atenuación de potencial del tubo al suelo es muy baja respecto de la distancia.

III) Una vez determinado el espaciamento máximo posible entre puntos de drenaje, se determinará la corriente mínima aplicable en cada punto, de la siguiente manera:

$$I = \frac{\pi D L a d}{100\ 000} \quad \text{donde:}$$

I = Intensidad de la corriente en amperios

$\pi DL$  = Area externa del tubo de diámetro D y longitud L dada en pies cuadrados ( $\text{ft}^2$ ).

a = Porcentaje estimado de área desnuda.

D = Densidad de corriente en miliamperios por pie cuadrado ( $\text{ma}/\text{ft}^2$ ).

El porcentaje estimado de área desnuda se determina con los datos de las pruebas de requerimiento de corriente. Tenemos; un tramo de tubo de longitud conocida A, limitado por las secciones 1 y 2 citadas en las pruebas de requerimiento de corriente, conocemos la intensidad de las corrientes que fluyen en dichas secciones, cuya diferencia es la corriente de protección consumida en el tramo de longitud A. El porcentaje de área desnuda "a" será:

$$a = \frac{100\ 000 (I_1 - I_2)}{D A d} \quad \text{donde}$$

$I_1$  e  $I_2$  son las corrientes en amperios en las secciones 1 y 2 respectivamente.

DA es el área externa en  $\text{ft}^2$  del tramo de tubo de longitud A.

d es la densidad de corriente estimada, que varía entre 1 y 2  $\text{ma}/\text{ft}^2$ .

Esta determinación de porcentaje de área desnuda, se debe hacer en todos los puntos donde se aplicó corriente de la prueba, con el fin de obtener datos suficientes para juzgar la calidad del recubrimiento, disminuyendo las posibilidades de error cuando aumenta el número de determinaciones.

Determinando el espaciamiento entre puntos de drenaje y la corriente requerida en cada uno de ellos, es necesario saber la instalación adecuada para proporcionar dicha corriente requerida.

Dadas las características de la tubería en cuanto a deficiencias del recubrimiento y las limitaciones consecuentes en los potenciales máximos -- aplicables en los puntos de drenaje, el procedimiento adecuado para protección, es el de utilizar ánodos de magnesio. El problema se reduce entonces a determinar, el número de ánodos necesarios por punto de drenaje y los pesos de dichos ánodos.

El número de ánodos para cada punto de drenaje, se obtiene dividiendo la corriente requerida entre la corriente por ánodo, ésta se determina por medio de la gráfica No. 1 de resistividad del suelo contra corriente por año do.

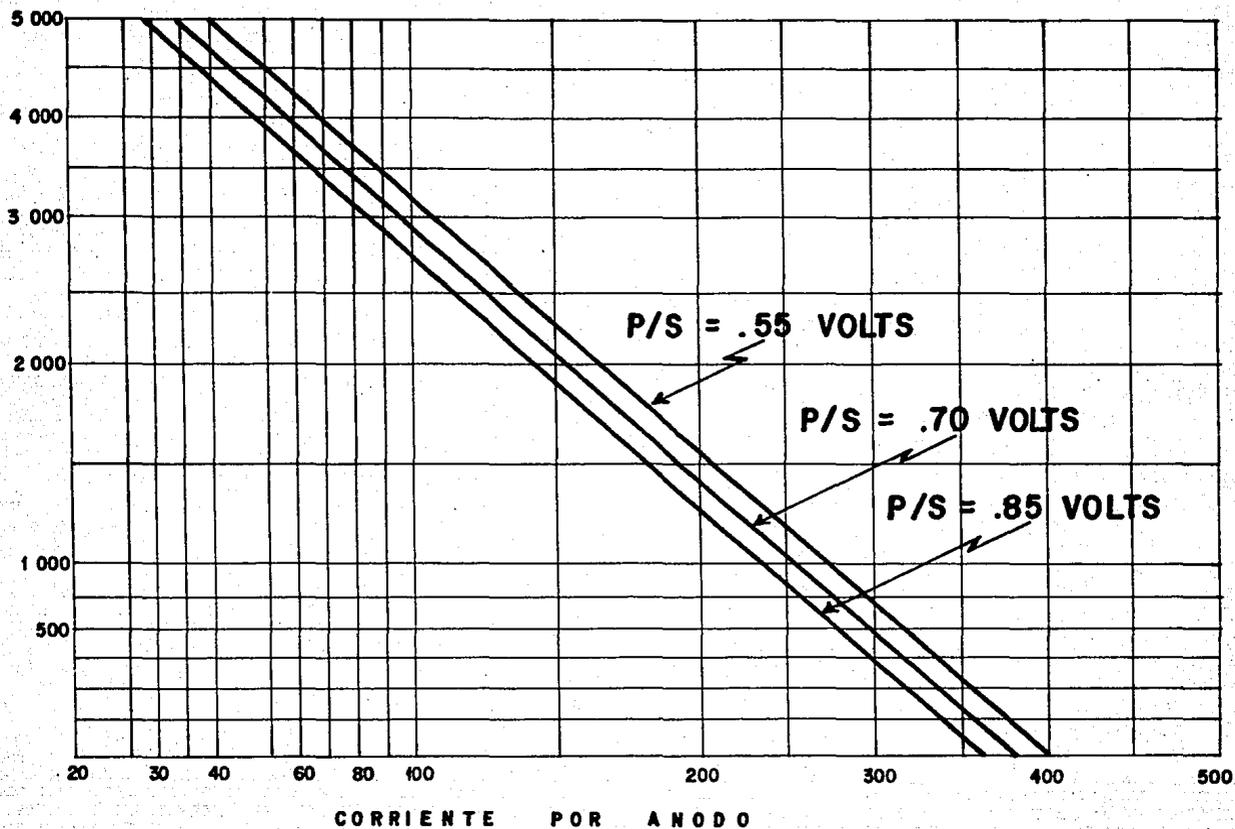
El peso de cada ánodo, se seleccionará procurando que su duración sea de 10 años aproximadamente. Se puede tomar como base que, por cada 50 miliamperios de corriente proporcionada, se consumen aproximadamente 10 libras de magnesio en 10 años.

En la tabla No. 4 se da una distribución de ánodos de diferentes pesos en libras, en función de la resistividad del suelo, para obtener una duración aproximada de 10 años de la instalación.

Es indispensable conocer el valor de la resistividad del suelo, determinado por el método de los 4 electrodos en el lugar preciso en donde se van a instalar los ánodos.

El sistema de protección catódica se debe complementar con las siguientes instalaciones:

- Juntas de aislamiento; registros para control y mantenimiento; instalaciones especiales para evitar daño a otras estructuras próximas (metálicas).



GRAFICA No. 1.-- RESISTIVIDAD DEL SUELO CONTRA CORRIENTE POR ANODO

<u>Resistividad del suelo (ohm-cm)</u>	<u>Peso del ánodo en Lbs para duración 10 años</u>
0 - 800	50
800 - 1800	32
1800 - 3000	17
3000 -	9

TABLA No. 4

DISTRIBUCION DE ANODOS EN FUNCION DE LA RESISTIVIDAD.

Se deberán instalar juntas de aislamiento en todas las partes que sea necesario, a fin de tener la estructura protegida, aislada eléctricamente de cualquier otra instalación y evitar fugas de corriente de protección.

Se deben instalar registros, para mediciones eléctricas periódicas, a fin de poder verificar una ó dos veces por año el buen funcionamiento de las instalaciones, y poder mantener trabajando eficientemente el sistema, haciendo las reposiciones de magnesio oportunamente, según se vayan agotando los ánodos. Estos registros sirven además como mojoneiras, para indicar el trazo de la tubería. Sus detalles de construcción e instalación se muestran en las siguientes figuras No. 23, al 29. Se ha tomado como regla instalar un registro cada kilometro, y en casos excepcionales, cada 500 metros cuando el espaciamiento entre puntos de drenaje sea menor que esta distancia.

Se harán además instalaciones especiales, en aquellos puntos donde se tengan estructuras metálicas, próximas al tubo protegido catódicamente. Estas instalaciones consistirán en conexiones eléctricas de resistencia ligeramente inferior a la resistencia estimada de flujo, a través del terreno entre las dos estructuras, a fin de proporcionar a la corriente colectada por la estructura no protegida un camino hacia los ánodos, que evite las posibilidades de corrosión por electrolisis.

Una vez desarrollado todo lo anterior, se deberá hacer una estimación del costo total de la obra.

Después de hacer la instalación, y transcurrido algún tiempo para permitir que se normalicen los potenciales y la corriente de protección, se deberá hacer una serie de mediciones eléctricas para verificar la eficiencia del sistema instalado.

Mediante el método descrito anteriormente, se logra una buena estimación del sistema adecuado de protección catódica sin embargo ya que no se trata de un cálculo matemático preciso, siempre es necesario hacer algunos

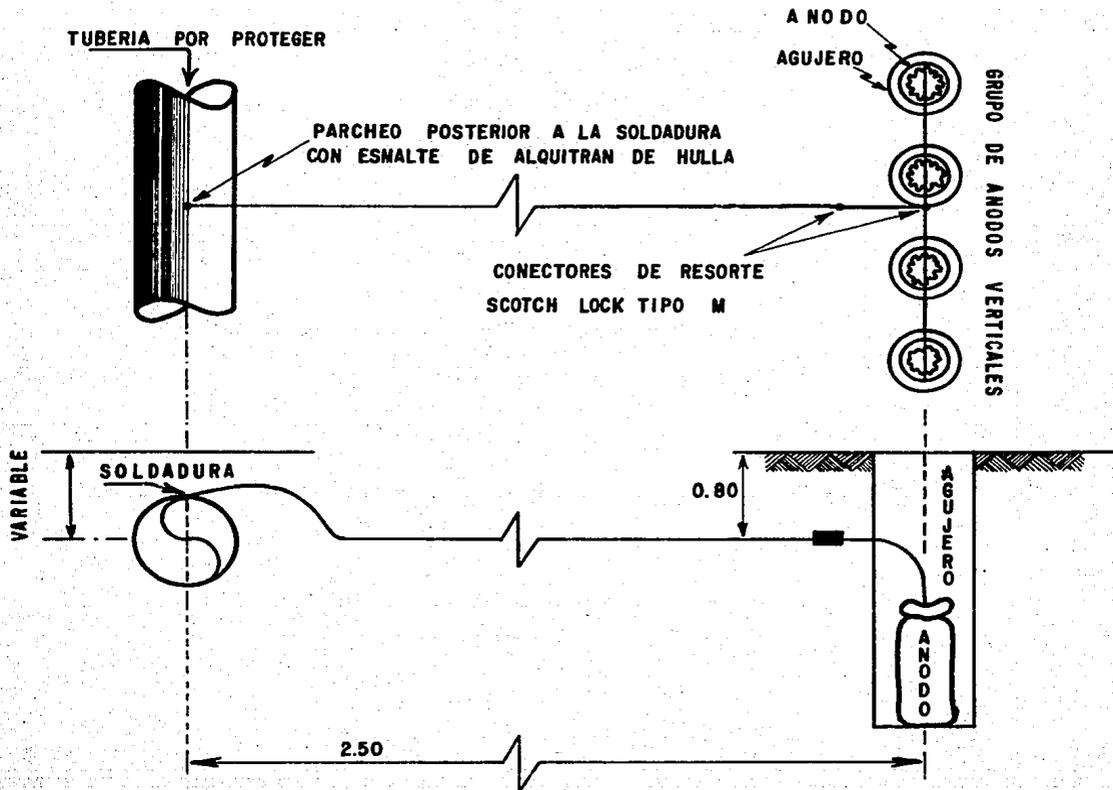
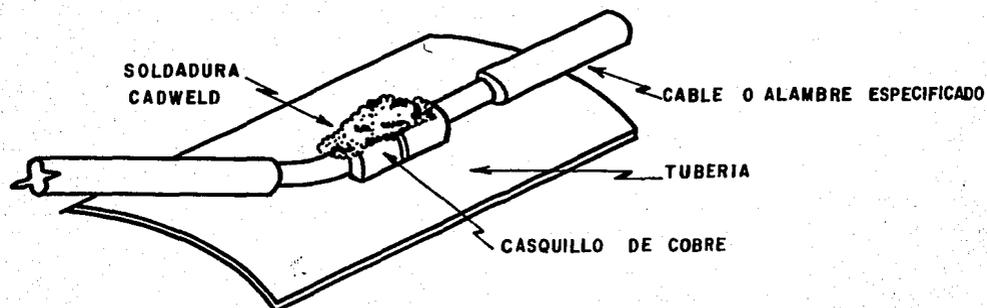
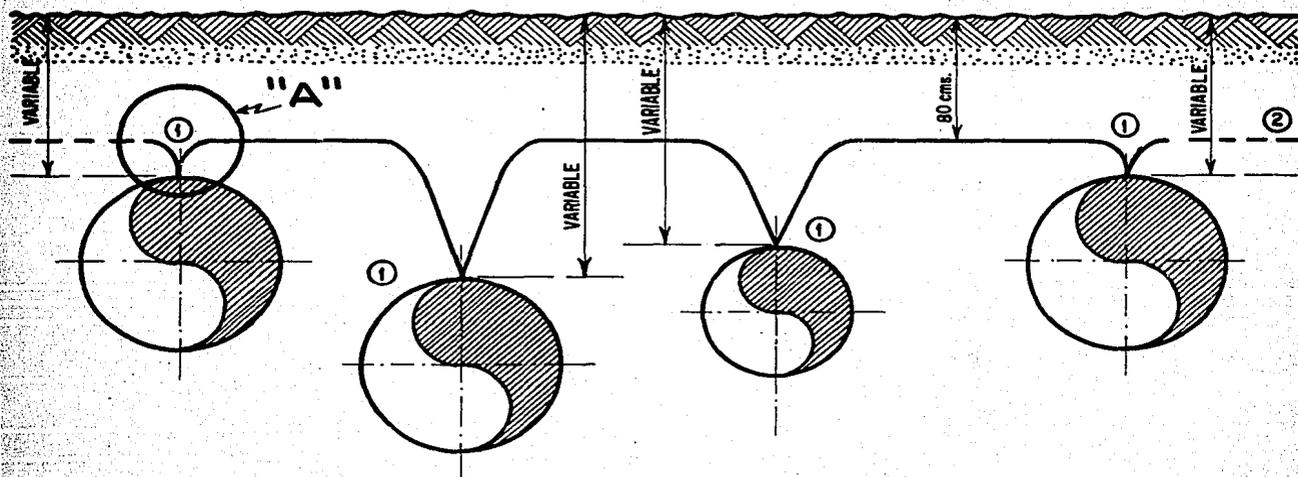


FIGURA No. 23

INSTALACION DE GRUPO DE ANODOS



DETALLE "A"



PROFUNDIDAD CONSTANTE DEL ALAMBRE DE 80 cms.

- 1.- SOLDADURAS POR ALUMINIOTERMIA
- 2.- CUALQUIERA DE LOS EXTREMOS DEL PUENTE PODRA PROLONGARSE CUANDO SEA NECESARIO CONECTARLO A OTRA INSTALACION (POSTE, ANODO, CINTA) ETC.

FIGURA no. 24

PUENTE ELECTRICO PARA TUBERIAS

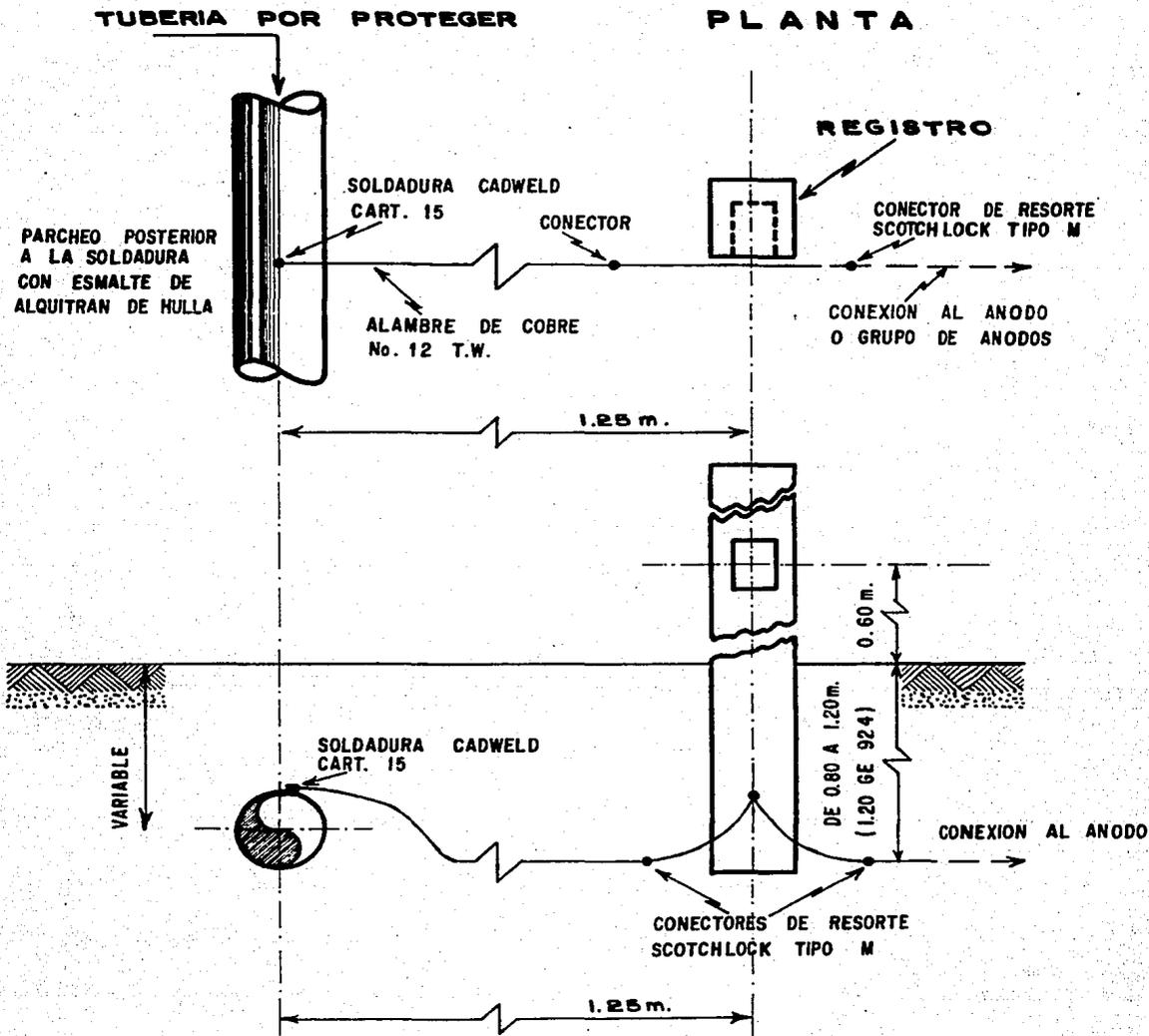


FIGURA no. 25

INSTALACION DE POSTE DE REGISTRO Y AMOJONAMIENTO

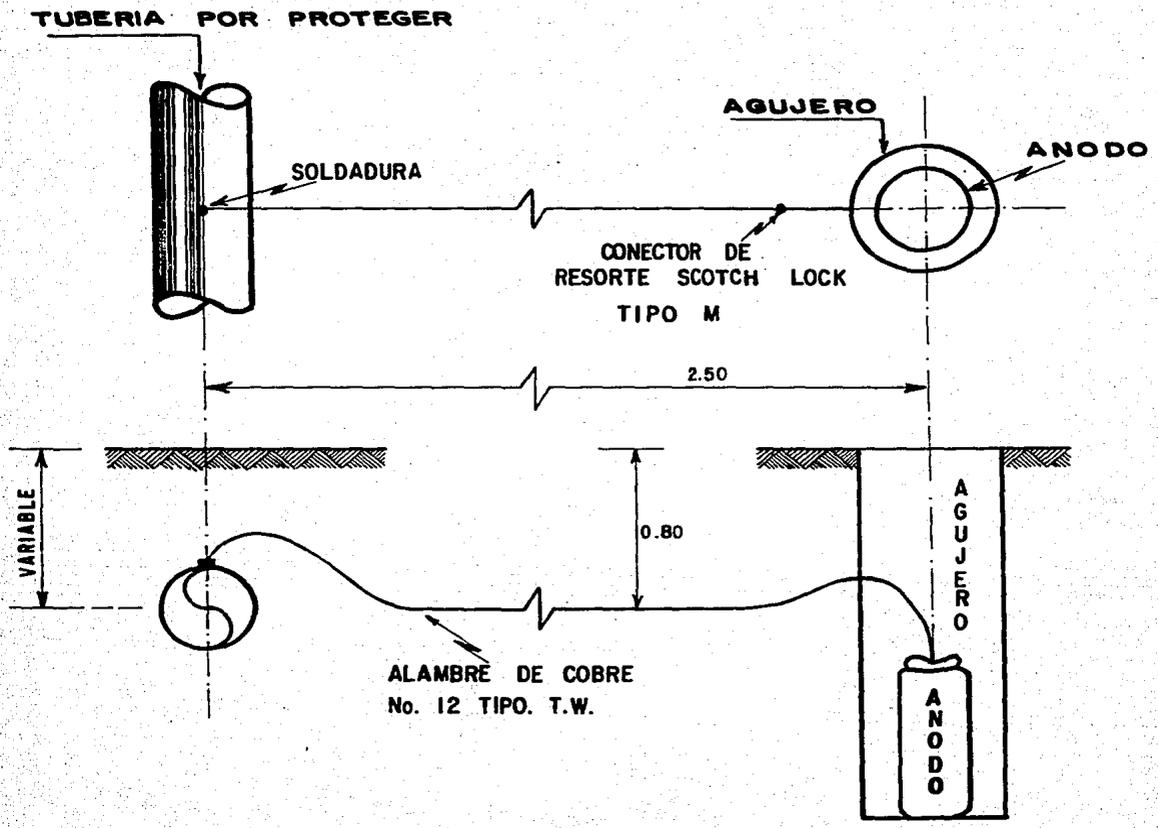


FIGURA no. 26

INSTALACION PARA UN SOLO ANODO

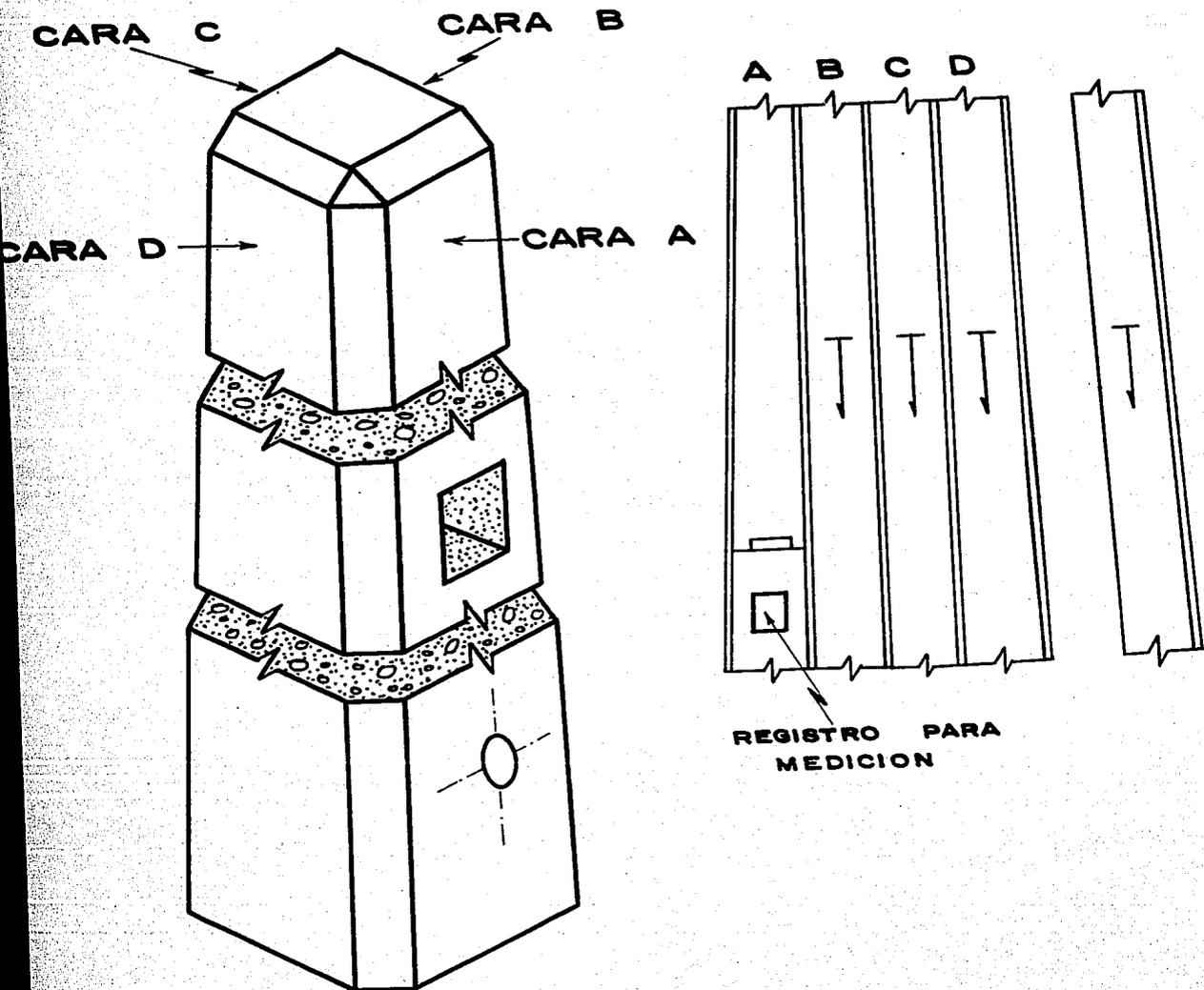
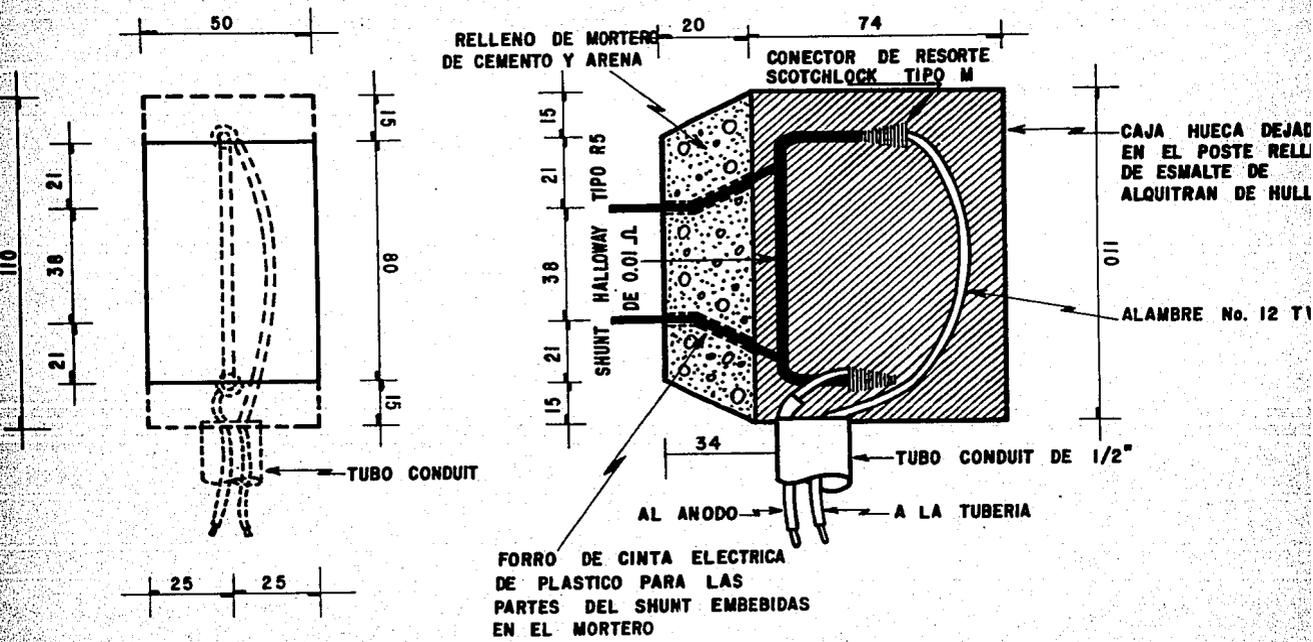


FIGURA no. 27

POSTE DE CONCRETO, DESARROLLO.





ACOT. EN MM.

FIGURA no. 29

DISPOSITIVO DE MEDICION ( DETALLE)

ajustes finales, tales ajustes se hacen con base en las mediciones posteriores a la instalación, se sigue normalmente que si la instalación fue bien diseñada, los ajustes no deben ser mayores de un 20% en exceso o decremento de lo instalado.

En el caso de que las determinaciones de área desnuda resulten con valores mayores de 30%, resultará anti económico un sistema de protección catódica de este tipo, habrá entonces necesidad de estudiar, basados en los records de fugas y en el perfil de resistividades y calidad del terreno, determinar las zonas mayormente corrosivas ( más agresivas), para aplicar la protección exclusivamente en dichas zonas.

Con esto, se obtendrá entonces una protección relativa con lo cual se logrará disminuir hasta en un 90% las posibilidades de corrosión, pero el costo de tal instalación podrá resultar tan bajo como un 15 ó 20% del costo de un sistema que se diseñará para cubrir los requerimientos del 100% de la longitud de la tubería ( dependiendo de la naturaleza del suelo).

Cuando se pretenda proteger solo las zonas corrosivas, se podrá seguir el criterio de incrementar el potencial del tubo al suelo p.s en tales zonas en 0.200 voltios, a base de magnesio.

La corriente requerida se calculará entonces, igual que en el caso anterior, con base en los porcentajes de área desnuda estimados, los cuales pueden alcanzar valores de hasta un 100%.

### 13.3.-PROTECCION CATODICA DE TUBERIAS BIEN RECUBIERTAS.

Suponemos básicamente, que una tubería nueva debe ser construída controlando estrictamente la calidad del recubrimiento aplicado, de tal modo que con los materiales y métodos modernos, se obtendrá invariablemente un re

cubrimiento de magnífica calidad, en principio.

En un proyecto para protección de una tubería de este tipo, deberán desarrollarse las siguientes etapas:

- 1) Instalación de juntas de aislamiento
- 2) Amojonamiento
- 3) Pruebas de requerimiento de corriente
- 4) Mediciones de resistividad
- 5) Diseño
- 6) Instalación y supervisión
- 7) Ajuste
- 8) Control y mantenimiento

#### 1) Juntas de aislamiento.

Adjunto al proyecto de instalación de la tubería (construcción), se deberá proporcionar una relación de juntas de aislamiento, de manera que estas queden instaladas conforme la línea de tubería, se vaya construyendo y en los lugares marcados por la relación.

Las juntas de aislamiento se instalarán en todos aquellos puntos donde la tubería se conecte a otras estructuras metálicas, con el objeto de que aquella quede absolutamente aislada eléctricamente y se evite cualquier posibilidad de fuga de corriente de protección.

Se deberá probar la eficiencia de las juntas, conforme se vayan instalando, o sea durante la construcción misma de la línea de tubería.

#### 2) Amojonamiento.

Consiste de señales de tipo permanente que se ponen para señalar y -

servir de guía sobre los lugares por donde va enterrada la línea de tubería.

Se ha desarrollado un tipo de mojonera que servirá además como registro para mediciones eléctricas. Estas deberán instalarse con espaciamiento de un kilometro y su instalación deberá ser preferentemente conforme la tubería se vaya enterrando. Comunmente se les conoce también como, postes para registro y ya fueron vistos en la parte anterior.

### 3) Pruebas de requerimiento de corriente.

Se deberán efectuar pruebas de requerimiento de corriente, de preferencia en los puntos donde sea fácil disponer de corriente eléctrica alterna de bajo voltaje y a bajo costo, la cual se pueda aprovechar posteriormente para alimentar rectificadores de corriente.

Como las tuberías muy bien recubiertas demandan de poca corriente de protección, es posible aplicar corriente de prueba con una fuente de capacidad moderada tal como un grupo de pilas secas de bajo voltaje, acumuladores de coche etc. Al hacer una prueba de corriente para una tubería de estas características se deberá anotar lo siguiente:

I.- Potenciales del tubo al suelo, en el punto de drenaje de la corriente, antes y después de aplicar corriente.

Así como en varios puntos intermedios, durante la prueba entre el punto de drenaje y el punto donde se localice el potencial mínimo de protección de 0.85 voltios.

II.- Distancias protegidas a ambos lados, desde cada punto de drenaje de corriente al tubo; en kilometraje.

III.- Intensidad de la corriente de prueba aplicada.

IV.- Potencial de la fuente de corriente durante la prueba.

V.- Resistividades del suelo en varios puntos cercanos al punto de drenaje, efectuadas por el método de 4 electrodos para un espaciamento entre electrodos de 5'3", 10'6" y 15' 3".

VI.- Resistencia del circuito de prueba empleado.

El potencial del tubo al suelo máximo aplicable será de 2.5 voltios - (punto de drenaje). Limitando además el potencial mínimo de protección a -- 0.85 voltios.

No hay limitaciones en cuanto a la proximidad del dispositivo de tierra por emplear, con respecto al tubo.

Se deberá tomar la resistencia eléctrica a través de la junta de aislamiento más próxima al punto de drenaje, haciendo además una descripción -- somera de las estructuras metálicas hacia ambos lados de la junta aislante.

#### 4) Mediciones de resistividad.

Se deberán hacer mediciones de resistividad invariablemente en aquellos puntos donde haya razón para suponer valores bajos para la resistividad del suelo, lugares tales como cruzamientos de ríos o esteros, terrenos pantanosos o terrenos salitrosos, etc.

Un perfil completo de resistividades a lo largo de toda la línea de tubería, podrá ser útil con posterioridad, cuando el recubrimiento de la tubería haya sido muy deteriorado, por la acción del tiempo y servicio. No es indispensable tal perfil para elaborar el diseño original en una tubería nueva, a menos que por alguna razón especial, se tenga interés en hacer la protección a base de magnesio.

## 5) Diseño.

Tratándose de una tubería nueva y con buen recubrimiento, la mayor parte de las veces, resulta posible hacer la protección con un número muy reducido de puntos de drenaje de corriente, ya que las atenuaciones de potencial de protección son mucho muy bajas. Esta característica es particularmente favorable porque nos permite elevar el potencial de protección acerca de los puntos de drenaje a valores máximos, sin un desperdicio antieconómico de corriente para sobre-protección, como es natural, debemos de tender la tendencia a reducir al mínimo el número de puntos de drenaje; y teniendo los rectificadores la ventaja de ser fuente de corriente capaces de proporcionar voltajes y amperajes altos, estamos en condiciones de obtener un número mucho más reducido de puntos de drenaje de corriente, que si estuviéramos únicamente atendidos al uso de ánodos de magnesio con los que se tienen limitaciones inevitables en lo que respecta a potencial de la fuente.

Una vez determinado el número mínimo de puntos de drenaje de corriente, teniendo en cuenta que no podemos exceder el potencial del tubo al suelo (p/s) de 2.5 voltios, esto para evitar en lo posible deterioro al recubrimiento, y conociendo de acuerdo con los resultados de las pruebas de corriente, la demanda de esta misma en cada punto, se pueden deducir las características aproximadas de cada rectificador a instalarse en cada punto de drenaje ya a estas alturas, debidamente localizado en el terreno. Dichas características fundamentales son:

- a) Amperaje
- b) Voltaje a la salida del rectificador

a) El amperaje.- Es un dato conocido de acuerdo con los resultados de las pruebas de requerimientos.

b) Voltaje.- Se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$V = R_T I + p/s + (0.9) \text{ Pot. Grafito} - (0.34) \text{ Pot. Cu/CuSO}_4$$

Donde:

V = Voltaje a determinar

I = Intensidad de la corriente requerida (conocida).

$R_T$  = Resistencia total del circuito, de donde;

$$R_t = R_c + R_e + R_g$$

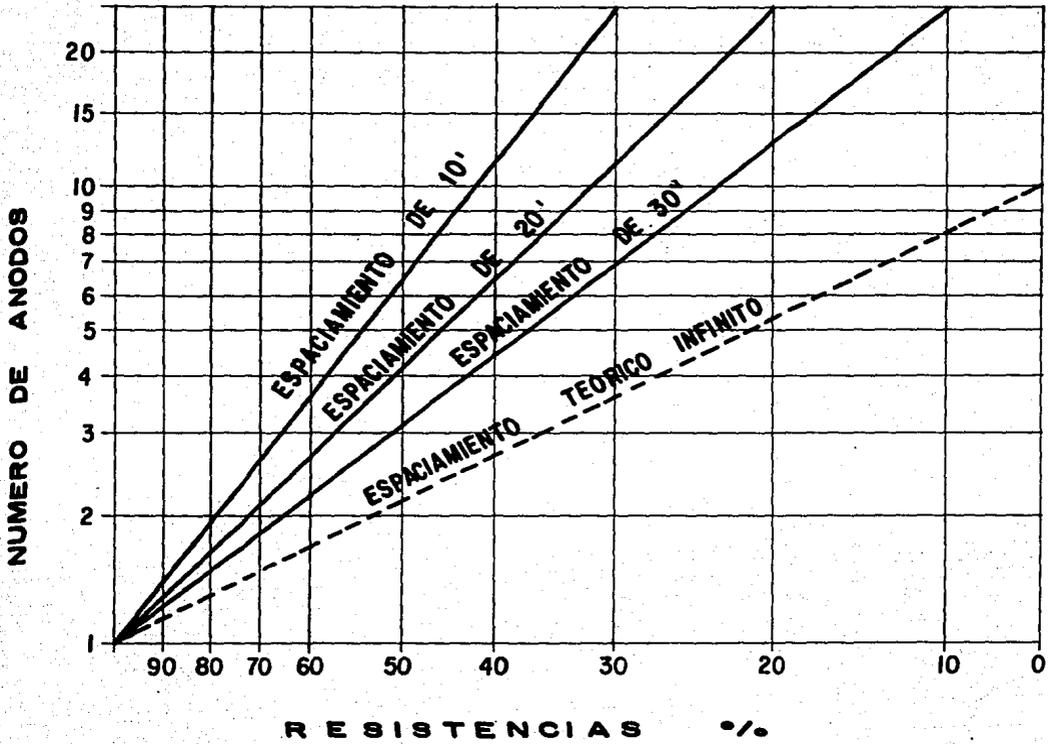
Donde a su vez:

$R_c$  = Resistencia de los cables de conducción de corriente del circuito, es muy baja y fácil de calcular conociendo el calibre y longitud de los mismos. Esta resistencia generalmente es despreciable con respecto al valor de  $R_T$ .

$R_e$  = Resistencia de la estructura por proteger con respecto a una tierra remota de resistencia nual (cero). Su valor varía de --- 0.25 a 0.50 veces, la resistencia en ohms medida en una junta - aislante colocada entre la tubería y otra estructura metálica, - dependiendo su valor exacto del contacto con tierra que tenga -- la otra estructura.

$R_g$  = Resistencia en ohmios del dispositivo de tierra que será empleado. Consiste el dispositivo, de una serie de barras de grafito - enterradas y rodeadas de un empaque de coque triturado, lo cual constituye el electrodo positivo del sistema.  $R_g$  se calcula - con la gráfica No. 2, de donde se obtiene su valor en por ciento de la resistencia de un simple ánodo del grupo.

El valor de la resistencia de un ánodo, es función de la resis-- tividad del suelo de acuerdo con:



GRAFICA No. 2

RESISTENCIA DEL DISPOSITIVO DE TIERRA EN % DE LA  
 RESISTENCIA DE UN SIMPLE ANODO EN FUNCION DEL  
 ESPACIAMIENTO Y EL NUMERO DE ANODOS.

$R_a = K/100$  Donde: es la resistividad del suelo y K para ánodos de 81" de longitud tiene los siguientes valores -- en ohmios de acuerdo al diámetro del ánodo.

Diámetro	K
2"	0.24
3"	0.22
4"	0.20
6"	0.17

$R_g$  Se calcula también de la siguiente manera:

Se busca la resistencia de un solo ánodo  $R_a$  usando para ello la tabla No. 5 para suelos de 1000 ohm-cm y este es afectado por un factor de corrección (F) de la gráfica No. 2 que tiene como parámetros, el número de -- ánodos y la distancia entre ellos.

La tabla No. 5 también es válida para ánodos galvánicos tomando las - dimensiones de éstos sin el material de relleno.

Las dimensiones más usadas de los ánodos de grafito son de 2, 3, y 4 pulgadas de diámetro y longitudes de 30, 60 y 80 pulgadas.

Para una vida de 10 años, se considera que un ánodo de grafito drena - aproximadamente 1.75 amperios, por cada pulgada de diámetro.

Los detalles de instalación serán en cada caso, desarrollados de - acuerdo al criterio del diseñador.

La instalación diseñada deberá ser ligeramente sobrada tanto en capa - cidad de los rectificadores como a número y tamaño de ánodos de grafito, -

RESISTENCIA EN OHMIOS DE UN SOLO ANODO VERTICAL  
EN SUELOS DE 1000 OHM.CM

---

DIAM. EN PULG.	LONGITUD EN PIES						
	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>
3	8.3	6.2	5.0	4.3	3.7	3.3	3.0
4	7.5	5.7	4.7	4.0	3.5	3.1	2.8
6	6.4	5.0	4.1	3.5	3.1	2.8	2.5
8	5.7	4.5	3.7	3.2	2.9	2.6	2.3
10	5.1	4.1	3.5	3.0	2.7	2.4	2.2
12	4.6	3.8	3.2	2.8	2.5	2.3	2.1
14	4.2	3.5	3.0	2.6	2.3	2.1	2.0
16	3.9	3.3	2.8	2.5	2.2	2.0	1.9

TABLA No. 5

ESTAS DIMENSIONES SI INCLUYEN EL MATERIAL DEL RELLENO (BACK-FILL) PARA SUELOS DE RESISTIVIDADES DIFERENTES A 1 000 OHM-CM, USE ESE VALOR COMO NUMERADOR Y 1 000 COMO DENOMINADOR Y MULTIPLIQUE POR LA RESISTENCIA INDICADA EN LA TABLA.

previendo las posibilidades de aumento de la demanda de corriente, por el -- deterioro lógico del recubrimiento de la tubería con el tiempo.

Se deberá hacer una estimación del costo de las instalaciones y del tiempo necesario para llevarlas a cabo.

6) y 7) Posteriormente a la instalación deberá hacerse una serie de mediciones, para verificar la eficiencia del equipo instalado, de dichas mediciones se podrán juzgar los ajustes necesarios por efectuar en las condiciones de - trabajo de los rectificadores.

8) La instalación deberá ser checada en su funcionamiento, una o dos veces - por año, para control y mantenimiento del sistema.

PARTE

4

A P E N D I C E S

## CAPITULO 14

## CONSIDERACIONES PRACTICAS DE PROTECCION CATODICA.

El aspecto de tipo puramente práctico de la protección catódica puede comprender consideraciones tan extensas y detalladas como se quiera, de acuerdo a la experiencia de quien se trate, y conforme a su manera de ver y entender lo propio así como lo transmitido por otras fuentes al respecto. A continuación se enumera una lista de las funciones más comunes del personal que se dedica a estas labores, así como de las necesidades de su instrucción para el mejor desarrollo de su trabajo.

- Capacitación en el manejo y operación de instrumentos de protección catódica tales como: Multicombinado, Vibroground, Localizador de Tuberías, Multímetro, Volt-amperímetro de gancho.

- Capacitación en el manejo y operación de accesorios y equipo de protección catódica tales como: Celda de Cobre-Sulfato de Cobre, tipos de cables, molde de grafito, soldadura tipo cadweld, casquillos de cobre, conectores de resorte, postes de registro y cadenamiento, banderolas, tanques para soldar en agua mastique y cinta aislante eléctrica, ánodos de sacrificio, ánodos de grafito, instalación de camas anódicas, juntas de seccionamiento etc.

## I.- DISEÑO DE SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA EN ESTRUCTURAS ENTERRADAS.-

- Análisis de perfil de resistividades de los derechos de vías por donde van las estructuras en el caso de tuberías.

- Análisis de perfil de potenciales naturales respecto al suelo de la

estructura en cuestión.

- Análisis de los planos o croquis de las estructuras a proteger catódicamente, con miras a la localización de: posibles puntos de drenaje, rectificadores (instalación), instalación de camas anódicas, postes de registro, etc.

- Determinación del tipo de sistema de protección a instalar para lograr la protección de la estructura (corriente impresa ánodos de sacrificio o mixto).

- Realización de pruebas de corriente a las estructuras en estudio.

- Cálculo de sistemas de protección galvánico y de rectificadores y ánodos inertes necesarios para la protección de acuerdo con el sistema seleccionado basado en el análisis económico.

## II.-VERIFICACION DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION.-

- Perfil de potenciales de protección catódica .

- Inspección de rectificadores de corriente impresa.

- Inspección de ánodos galvánicos, postes de registro y juntas aislantes.

- Diseño de refuerzos de protección en los puntos de la estructura -- donde se haga necesario.

- Ajustes a los sistemas de protección ya sea con ánodos o de corriente impresa.

## CAPITULO 15

## GRAFICAS TUBO-SUELO

Las gráficas tubo-suelo son una de las más valiosas informaciones para tener un panorama rápido y total de la situación existente, cuando se aplica protección catódica.

Las lecturas tubo-suelo son usualmente tomadas con referencia a una media celda de cobre/sulfato de cobre, y las lecturas son negativas.

Los experimentos han establecido que la tubería de acero en la tierra puede ser prevenida de la corrosión, si suficiente corriente está fluyendo a la tubería, para contrarrestar toda corriente que tienda a abandonar el tubo. Este punto ha sido establecido por varios caminos; el criterio usado más comunmente en protección catódica de tubería recubierta, es un voltaje negativo entre la tubería y el suelo de 0.85 volts, cuando se usa media celda  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  electrodo como contacto a tierra. El uso de este electrodo media celda, es en principio para minimizar cualquier polarización.

Las lecturas actuales de voltaje, usualmente en el rango de 0 a 2.5 v, son tomadas por un potenciómetro o por un voltímetro de campo del tipo de alta resistencia. La alta resistencia es necesaria en los voltímetros usados en estas lecturas para prevenir flujo de corriente y grandes errores en las lecturas de voltaje.

Después de obtener estas lecturas de potencial sobre una línea para cualquier intervalo constante predeterminado a lo largo de ésta, el grado de protección o de no protección se determina directamente por inspección. Muchos otros factores pueden hacerse manifiestos por el graficado de estas

lecturas de voltaje para cada intervalo en el cual las lecturas fueron tomadas.

Como un ejemplo las gráficas de líneas protegidas por rectificadores de corriente impresa muestran curvas quebradas características a diferencia de las líneas de tubería protegidas por ánodos de sacrificio. Hay usos definidos para ambos tipos de protección catódica y muchos factores se involucran en la determinación de cual tipo usar para protección, en cualquier caso dado.

La figura 30, muestra una típica línea de tubería desnuda o sin recubrimiento, sin protección catódica. Los voltajes son bajos y las zonas más activas de corrosión están localizadas en los puntos con menores lecturas. Tales lecturas tomadas a las líneas antes de la aplicación de protección catódica, son referidas comunmente como "normales" o también la gráfica es conocida como: "gráfica de potencial natural". Mucha gente de corrosión toma estas lecturas iniciales y las traza gráficamente antes de proceder a la aplicación de corriente.

Figura 31. Diagrama de una línea recubierta aislada en un caso y no en el otro. Comparando estas lecturas con las de la figura 1, o sea comparando lecturas tubo-suelo en tubería cubierta respecto de tubería desnuda, indican una menor corrosión o una menor velocidad sobre la tubería recubierta. Esto es generalmente cierto para líneas en suelos similares. En realidad, un ingeniero de corrosión trabajando en una sección simple de suelo similar, puede predecir con mayor exactitud la calidad del recubrimiento de una línea de tubería de las lecturas tubo-suelo "normales". En la Figura 31 puede verse que las lecturas de voltaje son mayores en líneas con pocos contactos de drenaje de corriente hacia otras estructuras; en otras palabras, la velocidad de corrosión de una línea dada, puede usualmente ser reducida y los voltajes tubo-suelo, resaltados notablemente por el simple recurso de conexiones aisladas en la línea.

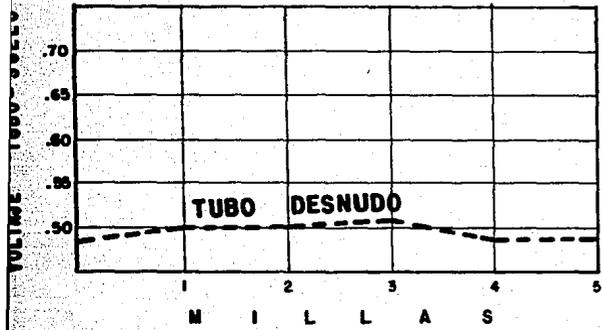


FIGURA No. 30

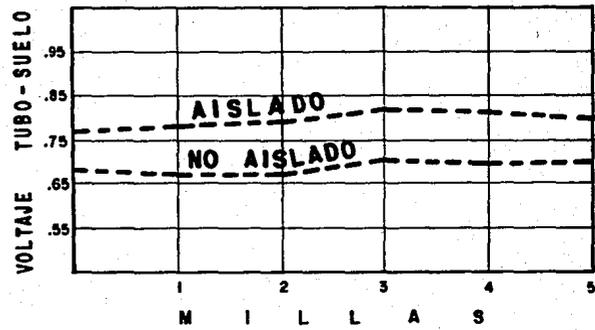


FIGURA No. 31

EJEMPLOS DE GRAFICAS TUBO-SUELO MAS COMUNES

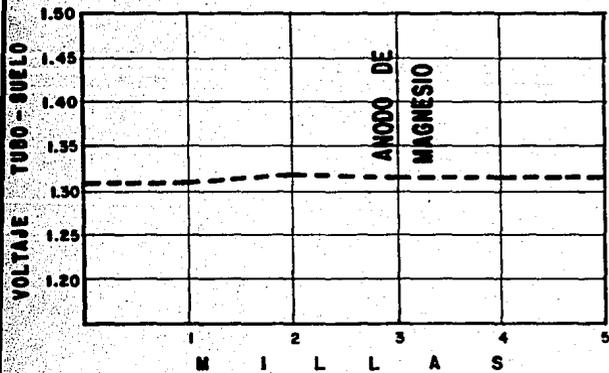


FIGURA No. 32

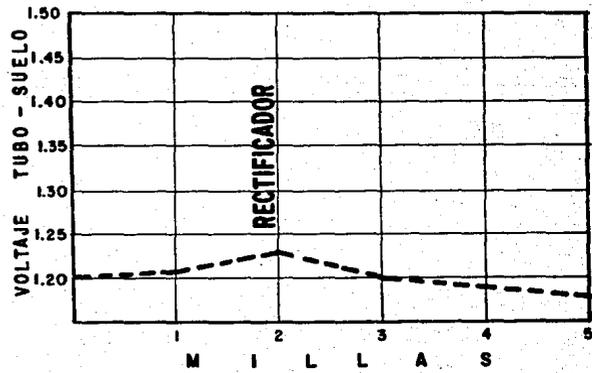


FIGURA No. 33

Figura 32. Muestra una típica línea aislada y bien recubierta sobreprotegida por el uso de ánodos de magnesio. Estos voltajes están considerablemente arriba de los de las figuras 30 y 31, indicando que la línea está bajo completa protección catódica; note que esta gráfica es prácticamente -- una línea recta, indicando una línea bien recubierta siendo protegida enteramente por un mayor flujo de corriente en todas las secciones. Protección -- catódica comple puede ser dada por menor corriente, y cualquier corriente - que fuerce el valor tubo-suelo arriba de 0.85 V está teóricamente siendo mal gastada. En la práctica actual, no es extraño sobre líneas bien recubiertas elevar este valor tubo-suelo arriba de 0.85 V, para permitir bajas pendientes ocasionales del potencial tubo-suelo por causa de contenidos bajos de humedad en el terreno. Sobre líneas bien recubiertas, no siempre es práctico el ajuste de salida de corriente de protección para ánodos de sacrificio sobre secciones cortas de líneas de tubería.

Figura 33. Muestra lecturas típicas moderadas en una línea bien recubierta, protegida por el uso de un rectificador y cama a tierra (dispersor). Comparada con la figura 32, la curva no es plana y nivelada; esto se debe a la concentración de corriente en la zona de la cama anódica con resaltamiento de voltaje en este punto, para obtener la protección deseada en los finales de la línea. Teóricamente y actualmente, un número de unidades menores, podría proteger esta línea con menor corriente, pero esto no necesariamente es más económico.

Figura 34. Muestra una típica línea descubierta bajo protección catódica, por el uso de un rectificador y una cama a tierra; esta es muy similar a la figura 33 excepto que la curva es muy pronunciada, indicando enteramente mayor concentración de corriente en la cama a tierra y deficiente distribución de corriente en las partes bajas de la línea; grandes líneas descubiertas pueden ser protegidas por el uso solamente de drenaje de corriente, pero esto no es usualmente el método más económico de protección. El método

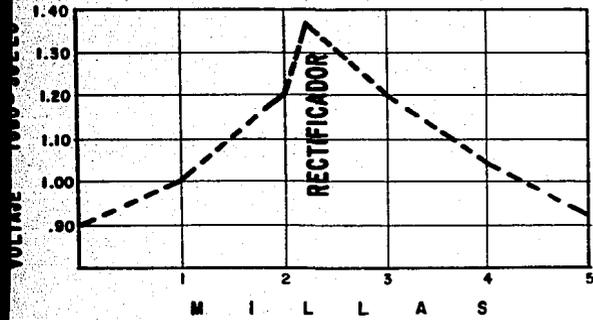


FIGURA No. 34

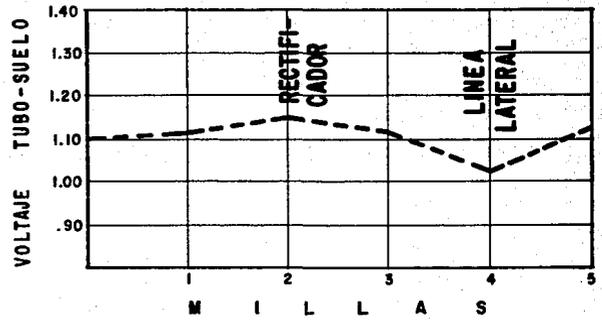


FIGURA No. 35

EJEMPLOS DE GRAFICAS TUBO-SUELO MAS COMUNES.

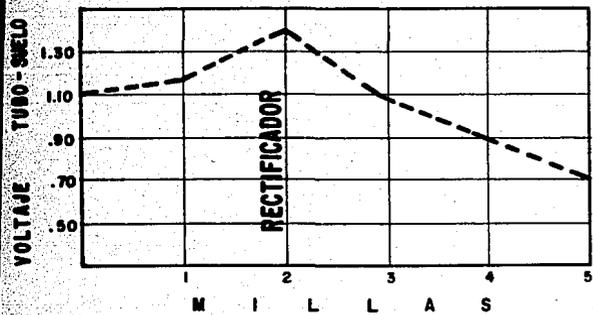


FIGURA No. 36

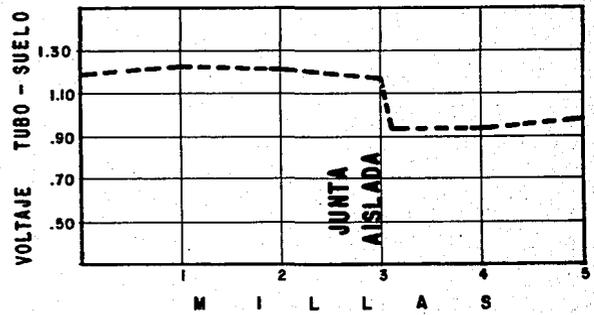


FIGURA No. 37

de Protección de zonas activas en lugar del uso de recubrimientos, puede ser considerado para la protección de este tipo de líneas.

Figura 35. Muestra una línea recubierta, bajo protección catódica -- usando un rectificador; una línea recubierta lateral agregada en la milla 4 es protegida por drenaje de corriente de la línea principal. Este drenaje se muestra por la caída en la lectura de potencial tubo-suelo en ese punto.

Figura 36. Es un ejemplo de una línea protegida catódicamente en un final y no en el otro debido a la falta de un aislante en un final de la línea. La falta de un aislante puede drenar fuera toda la corriente protectora de grandes tramos de línea; esto no es común. Establecer protección catódica sobre un sistema es únicamente el principio de un programa de control de corrosión, por lo que estas lecturas deben ser tomadas constantemente para asegurar protección continua.

Figura 37. Muestra una típica línea protegida por el uso distribuido de ánodos de sacrificio pero conteniendo una junta aislante. El cambio abrupto en la milla 3 es indicativo de la alta resistencia de la junta, posiblemente un cople con relleno de hule que sirve como aislador. Cuando se pretén de drenar grandes tramos de línea, como una línea eléctrica continua, es necesario localizar y conectar estas juntas. Mostrar las lecturas de manera gráfica puede ayudar a localizar detalles de este o de cualquier otro tipo.

Figura 38. Muestra lecturas tomadas a lo largo de una línea protegida en cada final por drenaje de corriente de otras líneas o una línea recubierta entre dos líneas catódicamente protegidas. Suficiente corriente se drena a cada lado, para proteger enteramente la línea.

Figura 39. Indica una línea recubierta bajo protección catódica, pero teniendo un contacto accidental con una estructura cercana desprotegida, tal

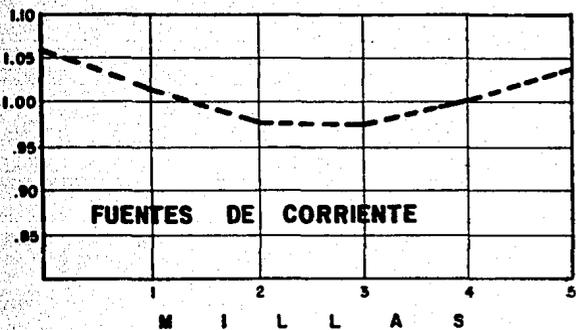


FIGURA No. 38

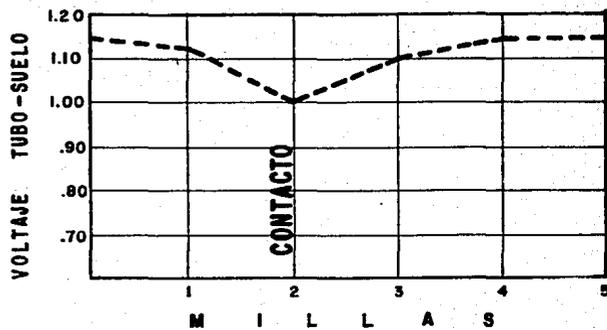


FIGURA No. 39

EJEMPLOS DE GRAFICAS TUBO-SUELO MAS COMUNES

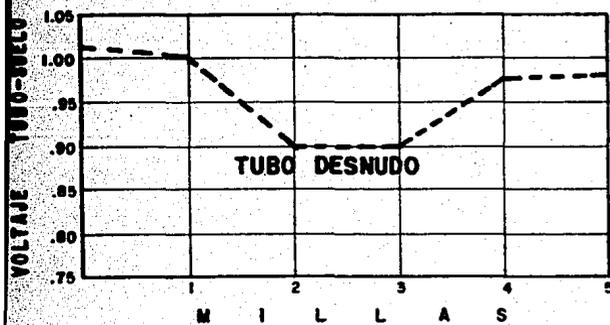


FIGURA No. 40

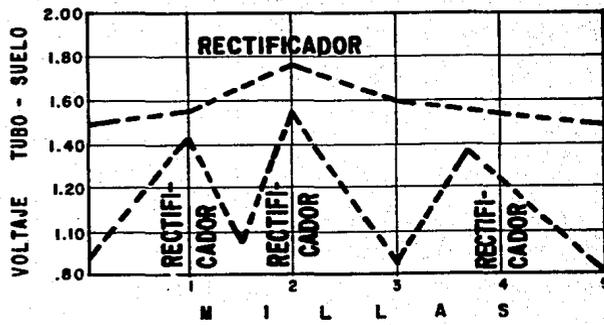


FIGURA No. 41

como alguna otra línea. Este es un caso común y la magnitud del problema -- es aparentemente fácil suponerla, graficando las lecturas tubo-suelo. Esta gráfica es similar a la figura 35 ya que es una situación parecida.

Figura 40. Muestra una sección de tubería desnuda, unida a una línea - recubierta que tiene corriente de protección aplicada. El aparente mínimo - en la línea, indica un menor grado de protección en ese punto. Una gráfica - de este tipo es una herramienta de valor, en localización de secciones de tu-bería desnuda que no se muestran en mapas, planos o records.

Figura 41. Es una típica gráfica ( línea de abajo) de tubería desnuda estando protegida por algunos rectificadores; una tubería similar pero recu-bierta (línea superior), protegida por un solo rectificador; de la compara-ción resulta obvio que es mucho mejor la distribución de corriente obtenida en líneas recubiertas.

Estos son algunos de los tipos de gráficas usadas en trabajos de pro-tección catódica. No implica que estos doce ejemplos cubran todos los casos; el uso de gráficas matemáticas simples de la lectura tubo-suelo, se recomien-da para cualquier control de corrosión en forma seria de tuberías enterradas, en muchos casos pueden simplificar grandemente las labores de control e ins-pección.

## CAPITULO 16

## PROTECCION DE ZONAS ACTIVAS

Una tubería desnuda se corroerá siempre mucho más rápidamente en ciertas secciones que en otras. De esto resulta que raras veces sea económico - dar a la línea una completa protección catódica. Se localizan necesariamente los "hot spots" o zonas activas de ellas, en orden a determinar el lugar en que la protección será de más ayuda.

Esta protección, cuando se aplica apropiadamente a las zonas activas, puede llegar a reducir o prevenir la corrosión hasta en un 90%, disminuyendo el costo en aproximadamente un 15% respecto a una protección completa.

Las zonas activas pueden ser localizadas por dos métodos: uno es por - medio de un reconocimiento de resistividad del suelo.

El método más conveniente para hacer un deslinde de este tipo, es por el aparato llamado de "una sola varilla" el cual consiste de una varilla de acero con una punta metálica aislada de la varilla propiamente y una pequeña batería que provee la fuerza del puente de corriente alterna, usando un par de audífonos para indicar el balance. El aparato se conoce con el nombre de "Sheppard's cane".

Cuando se hace el estudio, las lecturas deberán ser efectuadas cerca - de la profundidad de la tubería y en intervalos de rango desde unos pocos - pies, hasta mayores como 200 pies; esto es importante para tomar cualquier - cambio significativo. La inspección visual del terreno usualmente ayudará a - estar seguro que nada será olvidado. La obtención de valores de resistividad

del suelo puede ser transportado sobre papel semilogarítmico como un perfil o recorte de resistividad de la línea. La razón del uso del papel semilog, es porque las comparaciones de porcentaje son de consideración importante; - una rápida ojeada en el perfil de resistividades, indicará las áreas que requieren mayor atención y protección probable.

Los valores de resistividad del suelo son indicativos de la corrosividad del suelo. Para eso se estipulan las siguientes consideraciones:

1.- Valores abajo de 1000 ohm-cm. Son casi siempre suelos corrosivos, excepto cuando son secciones relativamente cortas, situadas entre áreas de - valores fijos bajos o cuando comprenden los más altos valores en una sección larga de línea.

2.- Valores arriba de 10 000 ohm-cm. Casi nunca son corrosivos; algunas veces una corta sección de tales suelos será un tanto corrosiva, cuando secciones a cada lado tienen muy altos valores. La celda de acción local - también podrá ser un problema en tales áreas.

3.- Valores entre 1000 y 10 000 ohm-cm. Deben ser interpretados por - comparación con las secciones inmediatamente adyacentes; las áreas bajas serán las secciones corrosivas.

El segundo método de localización de zonas activas, es por medio del - potencial tubo-suelo. Un reconocimiento de este tipo es debido al hecho que la corrosión tiene lugar cuando la corriente eléctrica abandona el tubo, en las áreas anódicas y regresa a él en las áreas catódicas. Es posible detectar estas áreas por medio del cambio en la pendiente de potencial, a través del suelo. Es conveniente referir todos los potenciales de suelo al de la tubería misma ya que igualmente, corrientes grandes pueden producir relativamente pequeñas diferencias de potencial en el metal, comparado con aquel a través del suelo.

Para las lecturas se viene usando una combinación de volmetro-potenciómetro, con una media celda de cobre-sulfato de cobre como electrodo de referencia. Las lecturas se toman en la superficie del terreno y directamente arriba de la tubería en estudio. En la localización de las secciones anódicas y catódicas, se debe recordar que en el ánodo, la lectura más alta está directamente sobre la tubería, con menores lecturas sobre cada lado; en el cátodo es cierto lo inverso, pero el cambio en lecturas no es tan grande.

Este tipo de estudio es fácil de hacer y de hecho se realiza rápidamente. Si se localiza una zona problema, ésta puede ser definida por unas pocas lecturas adicionales. Una distancia de 100 pies entre lecturas sobre líneas recubiertas, y 50 pies en líneas desnudas, viene a ser buen espacio para trabajos iniciales. Cuando la zona activa se localiza a lo largo de una línea desnuda, drenajes de corriente de 2 miliamperios por pie cuadrado de tubería, deben suministrarse para lograr protección. Tubería de varios tamaños puede ser protegida por varios tipos de ánodos. En la tabla No. 6 se enumeran diferentes tamaños nominales de tubería, en pulgadas de diámetro y el espaciamiento adecuado en función del peso del ánodo.

Basado en 50% de eficiencia del ánodo,  $2 \text{ mA/pie}^2$  y 10 años de vida del ánodo, si las condiciones son tales que la corriente de salida es mayor que el calculado para 10 años, los ánodos protegerán una mayor sección de tubería por un corto período de tiempo; y si la corriente de salida es menor el ánodo durará más pero protegerá una sección corta de tubería.

La capacidad normal para 10 años de vida y la resistividad del suelo, son dadas en la tabla No. 7.

La tabla No. 7 se aplica de acuerdo con estas condiciones: a 50% de eficiencia anódica; ánodos aislados (instalación simple), y 10 pies de separación entre el tubo y el ánodo. Altas eficiencias (las cuales se logran comúnmente), dando como resultado, una larga vida útil del ánodo, grupos de más ánodos que instalaciones simples, tienden a restringir el flujo de co-

riente.

#### Localización de Zonas Activas.

- 1.- Estudio de la historia de la línea. Reportes de fugas secciones - reemplazadas, reportes de inspección de defectos tales como cazuelas, etc.
- 2.- Estudio completo de corrosión.
  - a) Resistividad del suelo sobre el derecho de vía.
  - b) Medidas de  $P^H$  del agua y vapor, pantano y fango.
  - c) Potencial tubo-suelo, (la frecuencia de la resistividad del suelo y el P/S, puede variar entre 10 y 400 pies dependiendo de la afinidad deseada).
  - d) Medida de lugares de drenaje a intervalos predeterminados o en áreas de potencial alto.
  - e) Prueba de defectos, inspección de zonas activas.
- 3.- Correlación de información.
  - a) Historia de la línea.
  - b) Examen del tubo (cazuelas).
  - c) Espesor de la tubería.
  - d) Presión implicada.

#### Protección de zonas activas.

- 1.- Aplicación de ánodos de magnesio o cinta de magnesio
- 2.- Aplicación de corriente impresa, por medio de un rectificador y ca ma a tierra.
- 3.- Drenaje disipado de electrólisis (corrientes perdidas).
- 4.- Aplicación de recubrimientos.
- 5.- Conexión eléctrica a líneas ajenas o extrañas a la protección.

TABLA No. 6

ESPACIAMIENTO EN PIES PARA PESOS DE ANODOS

<u>Tamaño nominal de la tubería . Pulg.</u>	<u>9 libras</u>	<u>17 lb</u>	<u>32 lb</u>	<u>50 lb</u>
4	22	41	78	121
6	15	28	53	82
8	11	21	40	63
10	9	17	32	50
12	8	14	27	43

TABLA No. 7

<u>TAMAÑO DEL ANODO</u>	<u>CORRIENTE PARA 10 AÑOS DE VIDA. MA.</u>	<u>RESISTIVIDAD DEL SUELO OHM-CM</u>
9	51	3 200
17	97	1 900
32	183	1 050
50	285	720

## CAPITULO 17

## DESCRIPCION DE CONCEPTOS PARA INSTALACIONES Y ANALISIS DE PRECIOS.

## 17.1.- EJEMPLO DE DESCRIPCION DE CONCEPTOS PARA PROTECCION CATODICA A BASE DE ANODOS DE MAGNESIO EN TERRENOS - TIPO B. Y LA INSTALACION DE POSTES DE REGISTRO TIPO ALTA VEGETACION.

- 1.- Instalación y suministro de 403 ánodos de magnesio de 48 libras de peso. Incluye: manejo materiales y mano de obra en terreno tipo B (pantano, lodo).
- 2.- Suministro e instalación de 1297 metros de cable conductor de cobre, forro sencillo, enterrado directamente a profundidad mínima de 0.80 metros. Material y mano de obra. Alambre TW No. 10 AWG. - En terreno tipo B.
- 3.- 612 soldaduras aluminotermica, incluye: casquillo de bronce soldadura Cadweld No. 25; limpieza y reposición del recubrimiento; material y mano de obra. En pantano.
- 4.- Suministro y fabricación de 124 postes de concreto para amojonamiento, tipo RA (alta vegetación) hexagonal de 0.2 a 0.15 x 3.70 metros  $F_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ . Dotado de dispositivo de medición (derivador o shunt Halloway tipo RS. 0.01 ohm y 6 amperios). Alambre de cobre TW No. 12 forro sencillo y conectores de alambre Scoth lock. Vari-

lla corrugada de 5/16 de pulgada, con alambrón y alambre de amarre. Material y mano de obra.

- 5.- Instalación, cadenamamiento, carga, transporte y descarga en el sitio de instalación de poste de amojonamiento y registro tipo RA.

En el ejemplo descrito de conceptos, es claro que previamente se realizó el estudio y diseño a partir del cual se desprenden datos como lo pueden ser: El número de ánodos y su peso, la cantidad de cable conductor, el número de puentes; la cantidad de postes de registro, etc.

La gente relacionada con la protección catódica, aparte de estar familiarizada con el aspecto práctico del tema; debe saber también algunos aspectos de tipo administrativos o de oficina, en virtud de que su trabajo en determinado momento puede estar vinculado en el campo para el desarrollo físico de los trabajos, así como en la oficina para trámites administrativos, es por ello que se recomienda lograr cierta familiaridad con los aspectos de este tipo.

Compañías privadas o paraestatales en México que tienen necesidad del empleo de la protección catódica en sus instalaciones; cuando no tienen gente o medios para hacer los trabajos por su cuenta, recurren a compañías particulares que se dedican a este trabajo; esto genera una serie de papeleos, requisitos, trámites, solicitudes etc. Así como también de la supervisión de los trabajos durante el desarrollo de este, en el caso de personal que labora en la compañía se requiere de los servicios de protección catódica. O elaboración de cotizaciones y otros trámites, en el caso de personal que labora en la compañía que proporciona el servicio.

17.2.- EJEMPLO DE ANALISIS DE PRECIOS PARA UN POSTE DE  
0.15 x 0.20 x 3.70 METROS.

Precios aproximados a marzo 1987.

Cemento	\$ 2,500.00
Arena	1,900.00
Grava	3,500.00
Varilla 3/8	2,100.00
Poliducto	400.00
Chalupa	200.00
Alambre No. 12 10 M.	600.00
Shunt tipo RS de 0.01 ohm	800.00
Conectores de resorte	120.00
Alquitrán, aislante y mortero	300.00
Alambrón y alambre recocido	1,500.00
Letras de bronce p/grabar	400.00
Moldes de madera p/colado	<u>1,500.00</u>
	\$ 15,820.00

Mano de obra. Un albañil	\$ 5,000.00
Dos obreros	<u>7,200.00</u>
	12,200.00

Entre 4 postes diarios  
= \$ 3,050.00

Sub-Total Mat y M. de Obra	18,870.00
Administración y utilidad 38%	<u>7,170.60</u>
TOTAL	\$ 26,040.60

17.3.- DESCRIPCION DE CONCEPTOS BASICOS PARA PROTECCION A BASE DE  
RECTIFICADOR DE CORRIENTE CON CASETA.

- 1.- Suministro y erección de cercado de protección con techo de lámina de asbesto y piso de concreto. Medidas de 3.00 x 3.00 metros y - 2.50 metros de altura. Incluye castillos de concreto armado en las 4 esquinas, tela de malla ciclón galvanizada, puerta de fierro con pasador para candado, piso de 10 centímetros de espesor sobre pa--rrilla de varilla de 5/16 de pulgada de diámetro, con alambón y - alambre de amarre en cuadros de 20 cm por lado; estructura de ace--ro superior con traveses a un metro de distancia para apoyo de las - láminas de asbesto, y mano de obra.
- 2.- Fabricación y erección de estructura para soporte del rectificador hecha de concreto armado en forma de mesa de 0.50 x 0.70 metros, - por 0.50 m de altura.
- 3.- Instalación de rectificador de corriente. Incluye: colocación, co--nexión a la alimentación de corriente; conexión al cable colector de cama anódica; conexión a estructura por proteger, conexión de - cable a tierra ( aterrizado); prueba del sistema instalado; y su--ministro de rectificador monofásico de 100 amperios, 100 voltios - enfriado por aire con graduador de voltaje (taps) de 10 en 10 has--ta 100 y de 1 en 1 hasta 10. Material y mano de obra.
- 4.- Suministro e instalación de 48 barras de grafito de 3 pulg. de diá--metro y 60 de longitud para los dispositivos anódicos instalados - a 60 m de distancia del rectificador; incluye: cable, aislamientos conexiones, empaquetado. Material y mano de obra.

17.4.- DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS PARA UNA PRUEBA DE CORRIENTE PARA PROTECCION CATODICA EN ESTRUCTURAS ENTERRADAS (DUCTOS).

En la aplicación de corriente a un ducto, se proporcionan al final de la prueba, los siguientes datos:

- a) Potencial tubo/suelo en el punto de aplicación de corriente en voltios.
- b) Voltaje generado por la fuente de corriente directa.
- c) Corriente directa aplicada, en Amperios.
- d) Resistividad del suelo en el sitio donde opere el sistema de tierra, en ohm-cm.
- e) Perfil de potenciales de protección a uno y otro lado del ducto; - hasta localizar el 0.85 voltios del ducto en estudio.

Para el desarrollo de la prueba, se considera el siguiente equipo:

- a) Máquina de soldar de 300 amp, 50 volts.
- b) Camión de 3 Ton de carga, con operador
- c) Camioneta pick-up 3/4 ton, con operador.
- d) Multímetro Triplett mod. 100 .
- e) Molde de grafito para soldadura Cadweld, con cartuchos No. 15.
- f) Media celda de <sup>3</sup>cobre/sulfato de cobre.
- g) Derivador de corriente (shunt) de 50 amp - 50 mv
- h) Lote de herramienta manual
- i) Multicombinado Mc. Miller Mod. B-3.
- j) Vibroground marca Wilsson o similar.

La mano de obra considerada es:

- a) Un Ingeniero Químico Metalúrgico

- b) Un Operario Especialista.
- c) Un Operario de Primera
- d) Un Ayudante de Operario
- e) Tres Obreros Generales

Los materiales necesarios para el desarrollo del trabajo son como sigue:

- a) 60 metros de cable de conducción eléctrica, doble forro calibre No. 04.
- b) 5 rollos de papel aluminio ( sistema de tierra).
- c) 3 piezas de soldadura cadweld No. 15.

Precios aproximados de Aparatos y Equipos a junio 1987.

Maq. de soldar 300 amp - 50 volts	\$ 10 000,000.00
Remolque con llantas	400,000.00
Camión 3 ton.	16 000,000.00
Camioneta Pick-up	13 000,000.00
Multímetro Triplett Mod 100	210,000.00
Molde de grafito para soldadura Cadweld	120,000.00
Media celda Cu/CuSO <sub>4</sub>	50,000.00
Derivador de corriente 50 Amp - 50 mv	50,000.00
Lote de herramienta manual, con caja, palas, picos.	200,000.00
Multicombinado Mc Miller Mod B-3	4 800,000.00
Vibroground Mca Wilsson	2 100,000.00
Cable doble forro calibre 4 (metro)	3,600.00
Papel aluminio para sistema de tierra (rollo)	4,800.00
Cartucho de soldadura cadweld no. 15.	2,400.00

## CAPITULO 18

## FUNDAMENTOS SOBRE RECTIFICADORES

Es muy común en protección catódica el uso de rectificadores para el control de la corrosión, por lo que es necesario y usualmente deseable -- que exista gente capacitada en su operación que pueda ser responsable de inspecciones regulares ( de tiempo en tiempo), mantenimiento, así como de elaboración de reportes sobre el funcionamiento del mismo. Normalmente el personal que efectúa estas operaciones es del tipo no técnico, por lo que es fundamental tener presente los siguientes puntos durante la instalación, inspecciones de rutina o problemas de operación de rectificadores.

## I.- Función básica o propósito de un rectificador.

## A.- Cualquier rectificador.

- 1.- Para permitir la conversión de corriente eléctrica alterna da en corriente eléctrica directa.

## B.- Rectificadores de protección catódica. Lo mismo que el punto - anterior y además:

- 1.- Proveer medios de ajuste en la salida del rectificador para compensar:
  - a) cambios en el sistema por causas externas (estaciones - del año, salinidad del suelo, etc.)
  - b) Adición de más estructuras para su protección.
  - c) Cambios en la corriente de línea de entrada.
  - d) Errores en el sistema de diseño original.
- 2.- Proveer medios para checar la salida del rectificador en - forma visual (carátulas), así como también de la entrada - de corriente alternada.

- 3.- Proveer medios de protección de la unidad rectificadora con respecto a:
- a) Sobrecorrientes ( sobrevoltajes)
  - b) Corto circuitos:
  - c) Iluminación ( en algunos casos) del rectificador y de los alrededores del lugar en que se encuentra.
  - d) Protección respecto de gente curiosa, niños, etc., por medio de casetas aseguradas con cerraduras o candado y cerradas con techo para protección de la intemperie.
  - e) Protección respecto de la humedad.

## II.- Circuito y componentes de un rectificador de protección catódica.

### A.- Componentes de entrada y salida (corriente).

- 1) Circuito interruptor de tipo magnético; protección térmica - contra sobre voltajes o interruptor de tipo fusible.
- 2) Cambio de voltaje de línea para otras conexiones (opcional)
- 3) Dos graduadores del transformador con "Taps" o autotransformables:
  - a.- Entrada y salida aisladas
  - b.- Permite ajustar en la salida de voltaje por medio de graduación fina ( de dos en dos voltios) y gruesa de (de 10 en 10 voltios) por ejemplo. En uno u otro secundario y/o primario.
- 4) Protección de sobrevoltaje de la corriente secundaria (opcional).
- 5) Elementos rectificadores de: Selenio, Germanio o Silicio (diodos).
- 6) Filtro. (opcional).
- 7) Medidor de salida de corriente continua.

## B.-Condiciones Generales.

- 1.- El rectificador es esencialmente una máquina de un voltaje constante y su corriente obtenida es por lo regular determinada por el sistema externo de resistencia.
- 2.- Los rectificadores son muy sensibles a cualquier alteración de la corriente eléctrica por lo que deben ser protegidos por medios eficaces.

## III.- Instalación.

### A.- Selección del lugar o localización.

- 1) Primeramente depende de las condiciones del suelo, requerimientos de protección; y posibilidades de obtener el suministro del fluido eléctrico para su alimentación.
- 2) Además de lo anterior se tratará de que sea un lugar fácilmente de ser protegido y accesible en su posición con fines de instalación, chequeo, etc.

### B.- Revisión.

- 1) Chequeo de alrededores y daños físicos en la unidad.
  - a.- Inspección de la caja que lo contiene y de todos sus componentes.
  - b.- Abrir el rectificador y checar todas sus conexiones.

### C.- Proceder a montar conforme a las condiciones requeridas.

- 1) Obtenidas de un estudio tomando en cuenta todas las variables del medio y por medio de una copia del diagrama de conexión proporcionado por la máquina. ( una copia de este diagrama deberá permanecer en la máquina en su parte iz----

quiera y otra en la oficina de ingeniería). Normalmente -- las conexiones vienen claramente marcadas, de entrada de corriente alterna; tierra (-) y viva (+) y de salida de corriente directa; tierra ( al tubo o estructura a proteger) y viva al dispersor de corriente o cama anódica ya sea grafito o chatarra de fierro. La estructura externa deberá -- además estar conectada a tierra natural ( aterrizada).

- 2) Cheque el voltaje de línea de suministro ( corriente alterna).
- 3) Ajuste la necesidad de requerimiento de corriente moviendo para ello hasta el punto adecuado los conectores (taps) -- de salida de corriente directa. En rectificadores que son enfriados por aceite ( los hay también enfriados por aire) la unidad opera completamente inmersa en el aceite por lo -- que solo se pueden operar pocos minutos sin aceite.
- 4) Cheque la eficiencia.

#### IV.- Inspección y Mantenimiento.

A.- Consulte el manual de instrucciones.

B.- Revisión y chequeo son determinados en su frecuencia con base a las condiciones de operación ( estables o inestables por -- ejemplo, en el caso de variaciones de corriente).

C.- La revisión incluye:

1.- Chequeo y reporte sobre:

a.- Voltaje y corriente ( directa) de salida.

b.- Watts de entrada ( corriente alterna), deberá ser medi da directamente con un Wattímetro de corriente alterna o por un medidor de Watts-hora de corriente alterna, -- sobre un período de pocos minutos y calculada por:

$$\text{Watts} = \frac{K N}{T} \times 3 \cdot 600$$

Donde K es la constante del aparato medidor, la cual se muestra en el dial de la carátula, N es el número de revoluciones del disco medidor y T es el tiempo de la medida en segundos.

c.- Cheque y reporte la condición o estado general de la máquina.

2.- Limpie el polvo o basura de las rejillas de enfriamiento y en ductos.

D.- Eventualmente la revisión incluye:

1.- Chequeo de eficiencia.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Volts (d.c.) Amp (d.c.)}}{\text{Watts (a.c.)}} \times 100$$

a.- Cuando nuevo y a máxima corriente, los valores pueden ser como sigue:

- 1) Para tres fases desde 80% a 25 volt d.c., a menos del 50% a 5 volts d.c.
- 2) Para una fase desde 60% a 15 volts d.c., a menos del 40% a 5 volts d.c.
- 3) Para una fase en unidad con filtro, puede variar arriba del 10 a 20%.

b.- Después de un periodo de meses o años, en función con el uso, la eficiencia puede variar; normalmente tiende a bajar.

2.- Preparación para chequear caída de voltaje.

a.- Procedimiento.

- 1) Oprima el botón de paro ( off o abierto) y desconecte los cables de corriente directa.

- 2) Cambie el valor del voltaje (taps) ajustando a la -  
más baja posición. Conecte la máquina (on o cerrado)  
y cheque que este no sea más del 10% del máximo.
- 3) Oprima el botón para desconectar de nuevo y conecte  
las terminales ( conexiones) de salida de manera -  
junta y fuerte en corto, usando una pieza de cable  
grueso.
- 4) Vuelva a arrancar la máquina y si es necesario ajus-  
te de nuevo hasta obtener una estimación de corrien-  
te de salida d.c.
- 5) Con un medidor de voltaje en a.c. mida el voltaje -  
secundario aplicado en la prueba. Este deberá ser  
alrededor de 2.5 voltios cuando nuevo el equipo.

b.- Conclusiones.

- 1) cuando la caída de voltaje incrementa, la eficiencia  
decrece.

3.- Preparación para checar fuga de corriente.

a.- Procedimiento.

- 1) Abra el circuito en las terminales de salida.
- 2) Inserte un amperímetro de corriente alterna en se-  
rie con el secundario.
- 3) Conecte la máquina y corra el ajuste hacia arriba -  
hasta que se obtenga voltaje en la salida.
- 4) Espere unos pocos minutos para la estabilización. -  
Después lea en el amperímetro el cual debe mostrar  
no más del 5% del estimado de corriente directa -  
cuando nuevo.

b.- Conclusiones.

- 1) Cuando la fuga incrementa, la eficiencia decrece.
- 2) Un rápido incremento es indicador de una revisión -  
más a fondo del equipo.

## V.- Problemas comunes.

Siempre que una pieza de tipo eléctrico falle u origine problemas, deberá ser eliminada invariablemente, deberán evitarse reparaciones de tipo casero que puedan crear mayores problemas que el original. Se tomarán en cuenta siempre, el diagrama eléctrico del aparato así como el manual de instrucciones del mismo.

A.- Si no hay corriente o voltaje de salida, la causa puede ser.

1.- Interruptor disparado o fusible flameado.

a.- Si el interruptor se bota repetidamente, la causa puede ser:

1) Corto circuito (línea con línea o línea con tierra) en algún componente. Los componentes aislados deben ser checados en su capacidad de aislamiento con un ohmetro o "Megger".

b.- Si el interruptor se bota ocasionalmente por motivos no obvios; la causa puede ser:

- 1) cambios temporales en la humedad del suelo o ambiente arriba de condiciones normales.
- 2) Variaciones en el voltaje de línea de llegada o fuente. Ajuste el rectificador para operar al voltaje mayor de la línea o fuente.
- 3) Corto circuitos intermitentes. Aisle y cheque con el megger.
- 4) Sol, calor o humedad en exceso. Instale una protección o cubierta adecuada.

2.- No hay voltaje en la línea de alterna. Use un voltímetro de a.c., con rango apropiado para checar. Revise interruptores y/o fusibles en la llegada de corriente.

3.- Circuito abierto en algunos componentes o conexiones.

a.- Cheque todas las conexiones, especialmente:

- 1) El selector de voltaje de la línea de a.c.
- 2) Los taps del transformador, tanto el fino como el grueso.

3) Las conexiones de prueba.

b.- Prueba del rectificador. Use voltímetro de a.c. para ver si hay voltaje aplicado en la llegada.

- 1) Si hay. Puede ser que el circuito esté abierto y deberá ser revisado por un técnico en forma más detallada.
- 2) Si no; puede ser que la cuchilla o interruptor de llegada esté abierto.

4.- Medidores defectuosos.

a.- use medidores portátiles de alta exactitud para checar corriente directa.

b.- Reemplace los medidores o los interruptores, si es lo indicado.

5.- Defectos en el transformador.

Si la línea de corriente alterna se aplica al primario pero ésta no es medible o detectada en el secundario. Cheque si se escucha un sumbido proveniente del transformador.

a.- Si lo hay. El primario está operando, pero el secundario está probablemente abierto.

b.- Si no. El primario está abierto.

c.- Cheque los puntos anteriores, por aislamiento del transformador y checando las resistencias d.c., del arrollamiento con un ohmmetro.

- 1) El primario debe tener entre 1 a 10 ohmios de resistencia.

- 2) El secundario debe tener 1 ohm o menos.
- 3) Si la resistencia es mayor que estos valores; el --  
arrollamiento se encuentra efectivamente en circui-  
to abierto y el transformador debe ser reparado o -  
reemplazado.

6.- Interruptor o protector térmico defectuoso.

Si el contacto no cierra lo más probable es que deba -  
ser reemplazado.

B.- Si la máxima salida de voltaje obtenible d.c., es solamente la  
mitad de la que debiera ser; la causa puede ser:

- 1.- La máquina está conectada a una línea de voltaje mayor que  
aquella a la cual debe ser operada.
- 2.- La mitad de las conexiones abiertas en un circuito origi--  
nan que la máquina opere como un rectificador de media on-  
da en vez que de onda completa.
- 3.- Diodos viejos o en mal estado.
- 4.- Uso impropio del transformador. El máximo voltaje secunda-  
rio a.c. obtenible debe ser 1.2 veces el estimado del vol-  
taje de salida para una máquina de fase simple y 0.8 veces  
para trifásica; esto puede ser considerablemente mayor en  
algunas máquinas.
- 5.- En una máquina de tres fases, una fase puede:
  - a.- Estar circuitada abierta, en tal caso la corriente en  
una línea a.c. puede ser 10% o menos que en la otra.
- 6.- Bajo voltaje en la línea de corriente a.c. de llegada o --  
de la fuente en su caso.

## 18.1.- MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA UN RECTIFICADOR PORTATIL.

El rectificador portátil es adecuado para proveer una fuente de corriente directa "ajustable" para uso en determinados requerimientos de corriente en la Protección Catódica de Estructuras Enterradas. El aparato está construido para tener propiedades impermeables al agua, humedad, cierre con llave y caja metálica provista de soportes para su adecuado manejo y traslado. Tanto las conexiones de entrada así como las de salida están diseñadas para permanecer ocultas al cerrar la tapa, después que la unidad ha sido puesta en operación. Ver diagrama No. 9.

## Conexiones A.C.

La fuente de corriente alterna se conecta a la unidad por medio de 3 pies de cable de extensión que se proveen. Las terminales A.C. se encuentran en un receptáculo en el frente del gabinete, abajo en el lado izquierdo. La fuente de A.C. puede ser de cualquier tipo siempre que provea de 115 voltios. Si la carga D.C. para la unidad no va a exceder de 20 amperios y 50 voltios; la capacidad de la fuente de A.C. deberá ser 2 000 VA. Si la carga va a ser mayor que 30 Amperios y 60 Voltios, use una fuente de 3 000 VA. El requerimiento de corriente alternada puede ser calculado como sigue:

$$VA_{ac} = \frac{V_{dc} I_{dc}}{0.60}$$

Donde:  $VA_{ac}$  = Capacidad requerida A.C.

$V_{dc}$  = Voltaje de salida, en voltios.

$I_{dc}$  = Corriente de salida en amperios.

La corriente A.C. requerida puede calcularse como sigue:

$$I_{ac} = \frac{VA_{ac}}{V_{ac}}$$

Donde:  $I_{ac}$  = corriente de entrada en amp.

$VA_{ac}$  = capacidad requerida A.C. (cálculo anterior).

$V_{ac}$  = voltaje de entrada, en voltios.

#### Conexiones D.C.

Las terminales de salida de corriente directa se localizan en la parte de abajo a la derecha de la unidad; estas terminales están equipadas con conectores tipo anillo (soldados) y bornes de contacto tipo tornillo, para cada conexión.

La terminal positiva marcado "POS", se conecta a la cama temporaria o dispersor de corriente (ánodos de grafito, ánodos de aleación de ferrosilicio, chatarra de hierro, etc.) y la terminal negativa marcada "NEG", se conecta a la estructura la cual va a ser protegida.

Para minimizar la resistencia del circuito se recomienda el uso de cable de conducción eléctrica para trabajo rudo y de calibre (diámetro) adecuado tal como el cero o doble cero.

#### Capacidad de Salida.

La unidad está estimada para operación continua a 60 volt y 20 amp o 30 volt y 40 am D.C. dependiendo de la posición de las barras "taps".

Si la unidad es operada con el interruptor de corriente bajo condiciones cíclicas, donde la unidad se mantiene apagada (off) durante una porción del ciclo y durante otra se mantiene operando (on); es posible operar la unidad para largos periodos de tiempo a mayores valores. Bajo estas circunstancias puede operar arriba de los 60 voltios y 30 amperios o de los 30 volt y 60 amperes dependiendo de la posición de los "taps".

### Operación.

Después que las conexiones AC y DC han sido hechas, mueva el interruptor "on-off" a la posición "on". Si se desea operación ininterrumpida - mueva el interruptor de "timer-manual" a la posición "manual". Proceda a -- ajustar los valores de salida de corriente; el control de ajuste de salida - se encuentra al centro en la parte de abajo del panel central, los valores - de corriente y voltaje de salida se leen en el mismo papel directamente de - los medidores de que está provisto.

La unidad puede operar ya sea automáticamente o en ciclos de "on" y "off". Para este tipo de operación; mantenga el interruptor en "on" y cambie el interruptor "timer-manual" a la posición "timer", esto energiza un motor de tiempo y coloca un control automático interruptor de corriente dentro del circuito, el control interruptor de corriente actúa por medio de un engranaje con el motor de tiempo. El ciclo total "on-off" tiene duración de un minuto; pero puede ser ajustado tanto el tiempo en "on" como el tiempo en "off" cambiando las posiciones de los engranes en el motor de tiempo.

Ejemplo de una hoja de datos de revisión para rectificador.

GOOD-ALL ELECTRIC, INC.  
CONTROL DE CALIDAD FINAL, INSPECCION

MODELO PSFYSA 60/30 - 30/60

SERIE No. 80T1008-12

<u>ELECTRICA</u>	<u>FECHA</u>	8/9-80
AC VOLTS ENTRADA	115	115
AC AMP ENTRADA	25.6	25.6
WATTS APARENTES ENTRADA (CALCULADOS)	2944	2994
WATTS VERDADEROS ENTRADA (MEDIDOS)	2890	2850
FACTOR POTENCIA	97	97
DC VOLTS SALIDA	30	60
DC AMP SALIDA	60	30
EFICIENCIA	63	63

<u>MECANICA</u>	<u>FECHA</u>	8/9-80
CABLES Y CONEXIONES		BIEN
COMPONENTES DEL PANEL		BIEN
PUERTAS ( ANTERIOR Y POSTERIOR)		BIEN
BISAGRAS Y CERROJOS		BIEN
PINTURA		BIEN

INSPECTOR. D.H.

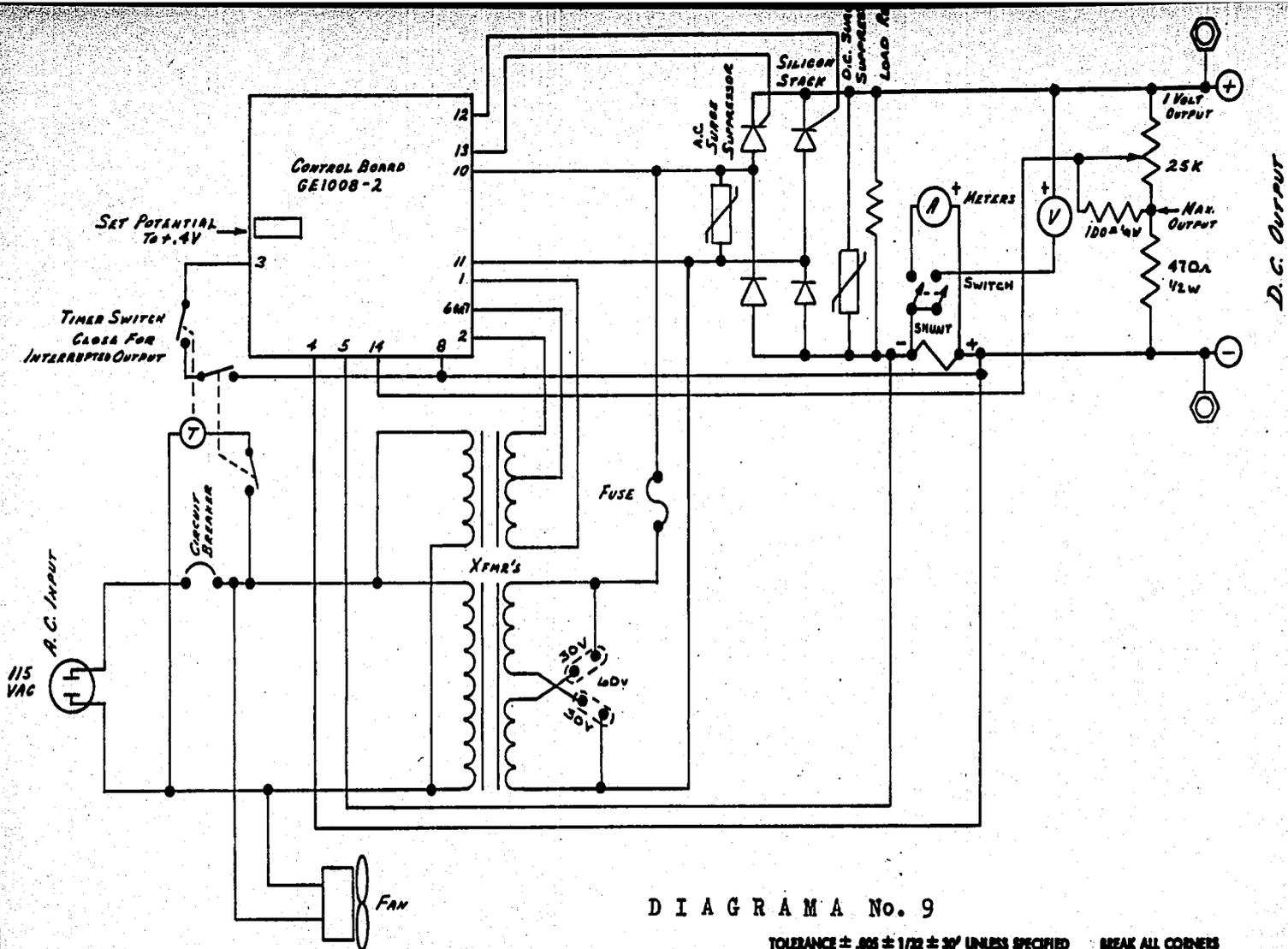


DIAGRAM No. 9

TOLERANCE  $\pm .005 \pm 1/32 \pm 30'$  UNLESS SPECIFIED BREAK ALL CORNERS

REV.	DESCRIPTION	DATE	APP'D	MAT'L	BYGR.	DATE	ENGR.	DATE
H	CHG. W/ WIRING DIAGRAM	LMPR	1051		Hoagdale	5/19/78		
G	CORRECTED METER HOOK-UP	5-8-80	993	SURFACE FINISH	DRAWN	1/27/78	Hoagdale	5/19/78
F	ADDED 100µF 1/2W RESISTOR	6/15/78	385	PLATE OR PAINT	TITLE	PORTA-TEST RECTIFIER SCHEMATIC		
E	REVISED & REDRAWN	5/2/78	361	SCALE	NONE			

**GOOD-ALL**  
ELECTRIC INC.  
OGALLALA,  
NEBRASKA U.S.A.

DWG. NO. 2015A 0137 REV. 17

## CAPITULO 19

## ALGUNOS ASPECTOS PRACTICOS.

## 19.1.- EQUIPO AUXILIAR LOCALIZADOR DE TUBERIAS

El funcionamiento de este localizador, es simple; el transmisor se conecta a la estructura por medio de un cable al conector de salida 98); un operador acciona desde ahí la señal por medio de los botones 5, 6 y 7. Incrementando la frecuencia, velocidad o impedancia de la señal, conforme el operador del receptor se aleja manteniendo la antena a raz del suelo, este recibe señal por el auricular de acuerdo a la posición de la antena cuando se encuentra sobre la línea o fuera de ella, escucha un sonido característico en ambos lados de la línea de tubería que sigue, lo que le da idea de por donde seguir caminando. A su vez el receptor tiene un botón regulador de la señal recibida. Hay diversos tipos de señal de acuerdo con la marca y modelo del aparato. Puede ser que no se escuche señal mientras la antena se mantenga sobre la tubería y una alarma al desviarse, o puede tener un sonido característico al ir sobre la línea y alarma al desviarse, etc.

El alcance del localizador mostrado es de aproximadamente unos 400 metros. En todo caso el manual de instrucciones del fabricante proporciona datos de uso, servicio y mantenimiento.

## 19.2.- SOLDADURA TIPO TERMITA.

El desarrollo para aplicar una soldadura es el siguiente:

A los conductores (alambres) que se van a soldar a la estructura, se les desprende el recubrimiento lo suficiente para introducirlos dentro del -

EQUIPO AUXILIAR PARA LOCALIZAR TUBERIA MCA.NILSSON MOD. 715.

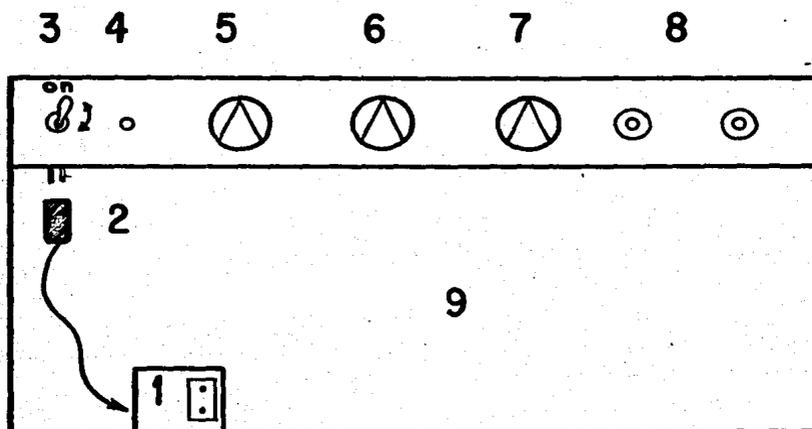


FIG. No. 42.-LOCALIZADOR DE TUBERIA (TRANSMISOR)

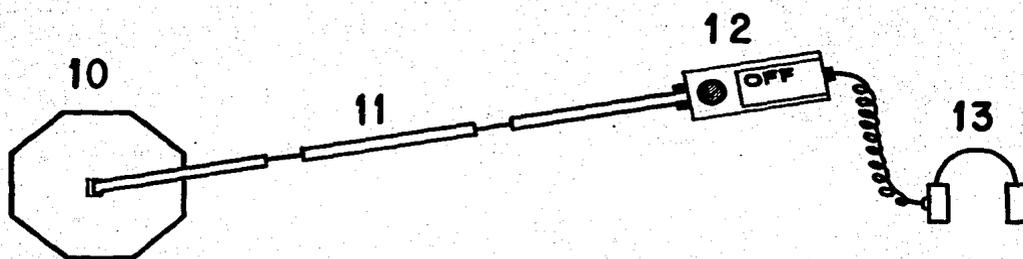


FIG. No.43.- LOCALIZADOR DE TUBERIA (RECEPTOR)

De las figuras No. 42 y 43:

- 1.- Batería Recargable
- 2.- Conector de la fuente de Poder.
- 3.- Sistema de encendido.
- 4.- Luz indicadora de corriente
- 5.- Botón regulador de frecuencia de la señal de salida.
- 6.- Botón reg. de la velocidad
- 7.- Botón reg. de la Impedancia
- 8.- Conectores a la estructura a seguir y a tierra
- 9.- Compartimiento para el Receptor.
- 10.- Antena localizadora.
- 11.- Extensión desarmable
- 12.- Mango receptor con botón regulador de señal recibida.
- 13.- Auricular con cable al receptor.

casquillo (normalmente se maneja alambre de cobre TW 8, 10 ó 12). Con una pinza se aprieta en casquillo contra los alambres en la parte de enmedio y a los lados ( del casquillo), con el fin de sujetarlos fuertemente, a continuación se coloca sobre la estructura previamente raspada a metal limpio de polvo y grasa; en el caso de tubería, se le desprende el esmalte o cualquier otro recubrimiento que tenga y se raspa con una lima gruesa. Hecho esto, se coloca el molde de grafito encima del casquillo de forma que coincida con el canal inferior ( 3) del molde hecho a propósito para ésto; se coloca el crisol metálico (6) el cual tiene la forma de un pequeño plato, en el fondo del crisol de grafito, a manera de cubrir el canal circular interno. Se des-tapa el cartucho Cadweld y se vacía el contenido (pólvora y soldadura en polvo), en el crisol (2) obviamente el crisol metálico impide que la soldadura caiga al canal vertical ; se procede entonces a cerrar la tapa (1) y a encender por medio de un cerillo o mecha, la soldadura, la cual durante el proceso de ignición ( que es inmediato), funde el crisol metálico y escurre hacia abajo por gravedad en forma líquida para unirse con el casquillo y la estructura, creando de esta forma el contacto metálico que es en sí la soldadura . A los 3 o 4 segundos se retira con cuidado el crisol con un movimiento lento hacia arriba ( con las manos por medio del soporte 4). La soldadura aún está al rojo y se puede aprovechar, para con un martillo, moldearla en caso necesario.

Cuando el molde de grafito ya está muy usado, la ranura del canal (3) se desgasta de tal forma que es necesario ayudarse con barro o arena húmeda, para evitar que la soldadura fundida escurra fuera del canal en el momento de soldar.

Existen diversos tipos de moldes de grafito, el aquí mostrado se llama "de paso" porque su ranura inferior (3) pasa de un lado a otro del mismo molde; pero los hay que tienen la ranura de un solo lado, o de otras formas dependiendo de su uso específico.

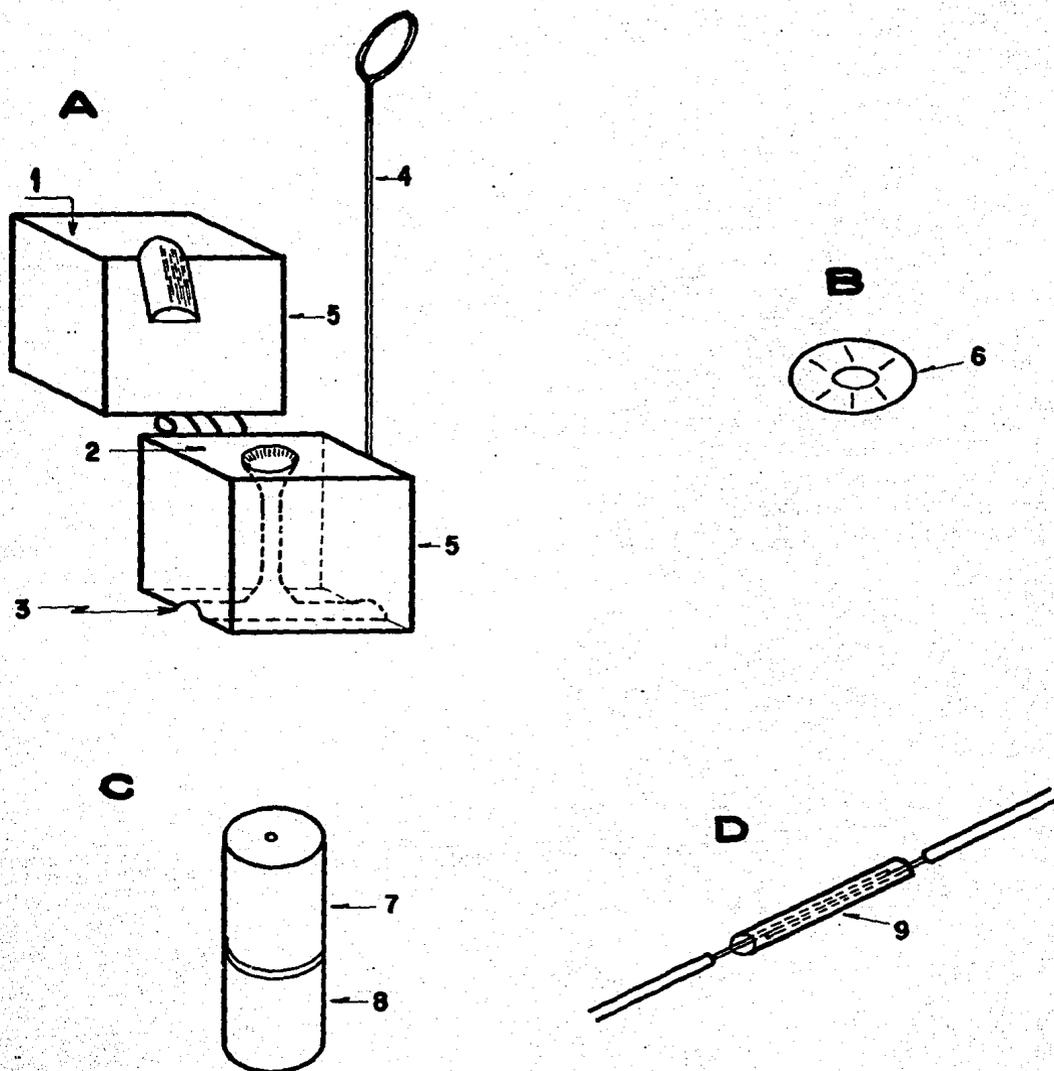


FIG. No. 44.- SOLDADURA TIPO TERMITA.

A) MOLDE DE GRAFITO

B) CRISOL METALICO

C) SOLDADURA CADWELD (DEPOSITO)

D) CASQUILLO DE BRONCE.

De la fig. No. 44.-

- 1.- Tapa en posición abierta mostrando canal semicircular interno.
- 2.- Crisol de grafito mostrando canal circular vertical interno.
- 3.- Canal inferior semicircular tipo crisol de paso.
- 4.- Soporte metálico
- 5.- Bloque de grafito cortado y unido con bisagra.
- 6.- Crisol metálico en forma de plato pequeño
- 7.- Cartucho de soldadura tipo termita. Mca. Cadweld (x) tapa deslizable hacia arriba.
- 8.- Cartucho de soldadura Cadweld. Depósito con soldadura en polvo.
- 9.- Casquillo de cobre (o bronce) con dos alambres sin recubrimiento ya colocados en el interior.

El casquillo de cobre no es más que un pequeño tubo en cuyo interior se traslapan y se sujetan, los alambres que se van a soldar a su vez a la estructura que necesita la conexión eléctrica. Estos casquillos se fabrican en varios tamaños.

Debe tenerse cuidado de retirar el molde a tiempo de la soldadura antes de que solidifique, ya que en ocasiones pueden quedar partes de ella en el crisol o incluso tapar el canal vertical interno.

El molde debe tratarse con cuidado ya que el grafito es un material frágil hasta cierto punto.

En el momento de encender la mezcla debe tenerse cuidado de no acercar la cara ni manos a los gases calientes que desprende el crisol, y si se prende con cerillos, debe retirarse la mano a tiempo para evitar quemaduras.

Después de la soldadura el molde de grafito se mantiene caliente durante algunos minutos.

### 19.3.- CONECTORES DE RESORTE.

Este tipo de conectores son muy usados en la práctica de la protección catódica, sirven para conectar un cable de otro para lo cual tienen una forma de resorte cónico que termina en una oreja. Los cables a unirse en contacto eléctrico, se colocan uno junto del otro y sus puntas previamente descubiertas de su recubrimiento aislante, se introducen en el orificio del cono que forma el resorte, sujetando fuertemente hacia adentro se procede a girar la oreja del conector alrededor del mismo, con lo que se genera que el resorte comience a ejercer una fuerza de sujeción sobre los alambres que se encuentran en su interior, al irse cerrando prácticamente el cono sobre ellos, el proceso termina en una de las vueltas, cuando se rompe por sí sola la oreja del conector, con lo que la unión queda lista.

Se procede entonces a aplicar aislante a la unión, primero se aplica normalmente, mastique eléctrico el cual es como una especie de plastilina y

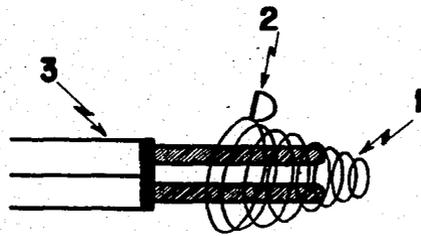


FIG. No. 45.- CONECTOR DE RESORTE.

(1) CONECTOR (2) OREJA (3) CABLES

EXISTEN CONECTORES DE VARIOS TAMAÑOS, PARA SUJETAR A DOS O MAS - ALAMBRES Y DE DIFERENTES CALIBRES.

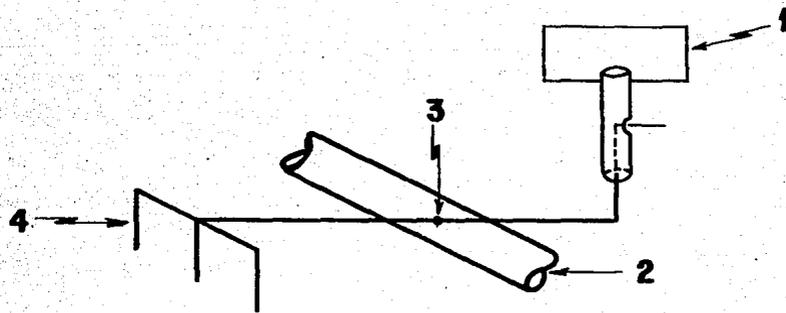


FIG. No. 46.- (1) BANDEROLA (2) ESTRUCTURA

(3) SOLDADURA (4) CAMA ANODICA.

sobre ella se procede a cubrir con cinta de aislar, haciéndola girar sobre la unión y traslapando la cinta en cada vuelta. Actualmente existen en el mercado aislantes de tipo epóxico que se aplican con calor.

#### 19.4.- BANDEROLAS

Se conocen con este nombre a unos señalamientos metálicos formados por un tubo de acero y una carátula cuadrada soldada en uno de los extremos del tubo; el otro extremo va enterrado en el derecho de vía de una línea de tubería, y en su interior se encuentra un cable conectado eléctricamente a la estructura protegida catódicamente, arriba el cable sobresale por una cavidad en el tubo, este se usa para determinar el potencial tubo-suelo de la estructura, únicamente conectando el alambre al (-) de un voltímetro y el (+) a una celda cobre/sulfato de cobre. Actualmente es raro encontrar este tipo de señalamiento en virtud del uso del poste de registro de concreto.

#### 19.5.- TANQUE PARA SOLDAR EN AGUA.

Existen estructuras que atraviesan a su paso zonas de tipo lacustre; como es el caso de largas líneas de tubería. Cuando se hace necesario soldar una conexión eléctrica a una estructura en terrenos de este tipo, se auxilia uno de los llamados tanques para soldar en agua, que en muchos casos no pasa de ser un tambor común metálico (normalmente de 200 litros de capacidad), al cual se le practica una abertura superior completa (se destapa) y una inferior de forma y tamaño adecuada con la estructura que se va a soldar; digamos que se trata de soldar sobre una línea de tubería de 8" de diámetro que se encuentra a 80 cm de profundidad entre un pantano, entonces al tanque se le practica una abertura en el fondo de forma semicircular y a lo largo de manera que encaje sobre el tubo, dejando de esta forma, la parte --

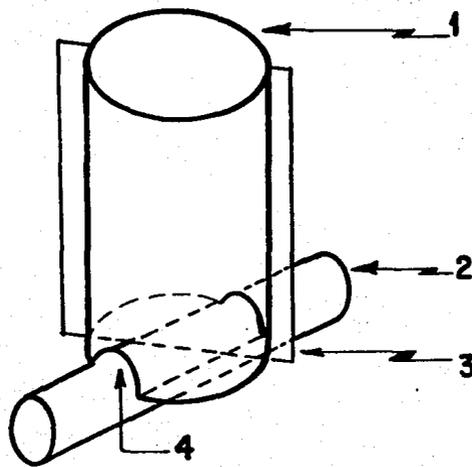


FIG. No. 47.- TANQUE PARA SOLDAR EN AGUA.

- (1) TANQUE (2) ESTRUCTURA  
(3) SOPORTE (4) ABERTURA

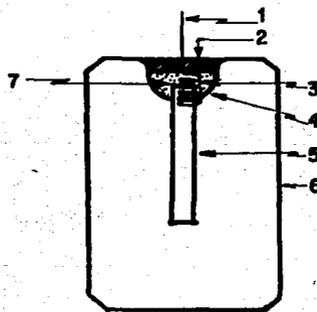


FIG. No. 48. -ANODO TIPO BARRA

- (1) ALAMBRE (2) ESMALTE (3) UNION (4) CONCAVIDAD  
(5) ALMA (6) ANODO (7) SOLDADURA DE ESTAÑO

superior del tubo a la vista. Se procede después de colocarlo a sujetarlo - por medio de correas o tornillos largos al mismo tubo por la parte de afuera se achica el agua de dentro del tanque y se introduce en él la persona que - realizará la soldadura.

#### 19.6.- HABILITACION DE ANODOS

Este término es común dentro de la protección catódica, se trata de conectar eléctricamente por medio de un cable conductor los ánodos de sacrificio que por cualquier motivo carecen de cable.

Los ánodos de sacrificio constan de un alma de fierro en su interior, esa alma que no es más que una placa delgada y larga o de la forma del ánodo en el caso de no ser un ánodo común, se encuentra conectada por medio de una soldadura al alambre conductor. El trabajo de habilitación es simple: se - limpia con agua y jabón la zona de la conexión, preferentemente se lava con un chorrito de ácido muriático, se seca perfectamente, se anuda el alambre - previamente despojado del recubrimiento aislante en el alma del ánodo, lo - más fuerte posible, a la unión se le agrega soldadura de estaño en forma líquida y encima de ésta se aísla con un poco de esmalte derretido.

## PARTE

5

## TERMINOS EMPLEADOS EN INGENIERIA DE CORROSION

- ACCION LOCAL.- Corrosión causada por celdas locales sobre una superficie me  
tálica.
- ACTIVA.- Referida a la dirección negativa del potencial del electrodo  
(antónimo: noble).
- AGRIETAMIENTO O CORROSION POR ESFUERZO.- Agrietamiento prematuro de metales  
producido por la acción combinada de corrosión y esfuerzo de  
tensión de superficie (residual o aplicada).
- AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL.- Término normalmente aplicado al agrietamiento -  
por corrosión por enfuerzo del bronce.
- ANAEROBIA .- Indica libre de aire o sin oxígeno combinado.
- ANION.- Ión de un electrolito cargado negativamente el cual emigra -  
hacia el ánodo bajo la influencia de un gradiente de poten--  
cial.
- ANODO.- Electrodo de una celda electrolítica en la cual ocurre la --  
reacción de oxidación. (antónimo: cátodo). Sinónimos: Anodo  
inerte, ánodo de sacrificio, electrcdo auxiliar.
- ANODO DEPOLARIZADO.- Metal de alto grado de pureza con un contenido específici  
co de óxido para impedir el pasivado.

- ANOLITO.-** Electrolito adyacente al ánodo en una celda electrolítica.
- ATAQUE POR CHOQUE.-** Corrosión asociada con el flujo turbulento de un líquido  
En algunos metales la acción es considerablemente acelerada por la entrada de burbujas al líquido.
- BONDERIZADO.-** Conversión de la superficie del acero en una delgada capa de fosfato básico insoluble, para protección contra la corrosión.
- CAMBIO DE CORRIENTE.-** Cuando un electrodo alcanza el equilibrio dinámico en una solución, la velocidad de disolución anódica está en balance con la velocidad de revestimiento o blindaje catódico. La velocidad a la cual cargas positivas o negativas, entran o salen de la superficie. A este punto se conoce como cambio de corriente.
- CAPA NERNST Y ESPESOR NERNST.-** La difusión de la capa o el espesor de esta capa está representada por la teoría de Nernst y definida - esta por:  

$$I_d = nFD C^0 - C \quad \text{En donde:}$$

$$I_d = \text{difusión limitada por la cantidad de corriente}$$

$$D = \text{Coeficiente de difusión}$$

$$C^0 = \text{Concentración en la superficie del electrodo}$$

$$C = \text{Espesor de Nernst, este espesor es hipotético y ha sido establecido de 0.05 cm en casos de electrolitos acuosos sin agitación.}$$
- CATION.-** Un ión de un electrolito cargado positivamente el cual emigra hacia el cátodo bajo la influencia de un gradiente de potencial.
- CATODO.-** Electrodo de una celda electrolítica en el cual ocurre la -

reducción. En los procesos de corrosión, normalmente éste es el área en la cual los iones metálicos no entran en solución.

- CATOLITO.- Porción de electrolito adyacente al cátodo en una celda electrolítica (ant. anolito).
- CATOMETRO.- Instrumento de medida para densidades de corriente en superficies irregulares.
- CELDA.- Sistema electroquímico compuesto por un ánodo y un cátodo su mergidos en un electrolito, el ánodo y el cátodo pueden ser metales separados o áreas desiguales sobre el mismo metal. - Cuando los electrodos están en contacto eléctrico uno con -- otro, desarrollan una diferencia de potencial que origina un flujo de corriente y produce corrosión en el ánodo.
- CELDA ACTIVA-PASIVA.- Celda cuya fuerza electromotriz es debida a la diferencia de potencial entre un metal en estado activo, y el mismo metal en estado pasivo.
- CELDA DE CONCENTRACION DE OXIGENO.- Celda galvánica resultante de la diferencia de concentraciones de oxígeno entre dos puntos.
- CELDA LOCAL.- Una celda cuya F.E.M. es debida a diferencias de potencial - entre áreas sobre una superficie metálica en un electrolito.
- COEFICIENTE DE CORROSION.- La recíproca de la eficiencia de corrosión de un ánodo. Término empleado en la aplicación de la protección -- catódica.
- COSLETIZACION.- Proceso de tratamiento del hierro y acero en una disolución de fosfato ácido de zinc, para obtención de una capa anticorrosiva.

- CORONIZADO.- Consiste en la aplicación de una capa aleada de zinc y níquel seguido de un tratamiento térmico, resultando una superficie que supera las propiedades anticorrosivas del zinc.
- CORROSION.- Deterioro de un material, usualmente un metal, por causa de una reacción con un medio ambiente.
- CORROSION ACELERADA POR ESFUERZO.- Incremento en la velocidad de corrosión - causado por esfuerzos mecánicos aplicados al metal.
- CORROSION CATODICA.- La corrosión resultante de una condición catódica en -- una estructura metálica, normalmente causada por reacción de productos alcalinos de electrólisis con un metal anfótero.
- CORROSION EROSION.- Reacción acelerada de corrosión por la velocidad y abrasión del fluido.
- CORROSION FILIFORME.- Ocurre bajo películas de recubrimientos en forma casual y distribuida en líneas o listas muy finas.
- CORROSION GALVANICA.- Corrosión asociada con la corriente resultante de la - unión de electrodos desiguales en un electrolito; también conocida como: acción de par.
- CORROSION GENERAL.- Deterioro metálico distribuido uniformemente sobre una - superficie.
- CORROSION GRAFITICA.- Deterioro del hierro colado gris en el cual los constituyentes metálicos son convertidos a productos de corrosión sobrando el grafito intacto.
- CORROSION INTERCRISTALINA.- (Ver corrosión intergranular).

- CORROSION INTERDENTRITICA.**- Ataque corrosivo de metales fundidos cuyo progreso preferencialmente es a lo largo de trayectorias interdentríticas o arborecentes.
- CORROSION INTERGRANULAR.**- Corrosión preferencial en el límite de los granos de un metal o aleación.
- CORROSION POR CORRIENTE EXTRAVIADA.**- Resultante del flujo de corriente directa a través de otras trayectorias de circuitos determinados.
- CORROSION POR ROSAMIENTO.**- Deterioro en la interfase entre dos superficies - de contacto acelerado por un movimiento relativo entre - ellas, de suficiente amplitud para producir deslizamiento.
- CORROSION SUBSUPERFICIAL.**- (ver oxidación interna).
- CORROSION TERMOGALVANICA.**- Es la resultante de una celda galvánica causada - por un gradiente térmico.
- DEACTIVACION.**- Proceso de remoción previa de los constituyentes corrosivos, usualmente oxígeno, de un líquido corrosivo por control del metal sacrificable o por otro medio químico.
- DEPOLARIZACION.**-Remoción de ciertos factores resistentes al flujo de corriente en una celda.
- DEPOSITO.**- Una sustancia extraña, proveniente de un medio ambiente adherida a una superficie.
- DEZINCIFICACION.**- Fenómeno de corrosión que resulta de la separación del zinc de aleaciones cobre-zinc . (ver separación).

- DOBLE CAPA.-** Interfase entre el electrodo y el electrolito en donde toman lugar cambios de separación. El modelo ordinario está representado por un condensador de platos en paralelo de  $2 \times 10^{-8}$  cm de espesor, en general el electrodo deberá estar cargado positivamente con respecto a la solución.
- DRENAJE.-** Conducción de corriente (electricidad positiva) hacia una estructura metálica enterrada, por medio de un conductor eléctrico.
- a) Drenaje forzado.- Drenaje aplicado a estructuras metálicas enterradas, por medio de una fem. aplicada o mediante ánodos de sacrificio.
- b) Drenaje natural.- El drenaje de una estructura enterrada, hacia otra estructura más negativa ( más anódica).
- EFICIENCIA DE CORROSION ANODICA.-** La relación de la corrosión real de un ánodo y la corrosión calculada de la cantidad de electricidad que ha pasado por el.
- ELECTRODO.-** probeta o espécimen en una celda electroquímica.
- ELECTRODO AUXILIAR.-** Es un electrodo comunmente usado en estudios de polarización para pasar corriente a/o de un electrodo de prueba.
- ELECTROLISIS.-** Cambio químico en un electrolito resultado del paso de la electricidad.
- ELECTROLITO.-** Una sustancia química, o mezcla, normalmente líquida conteniendo iones que emigran en un campo eléctrico.
- EQUIVALENTE ELECTROQUIMICO.-** Es el peso de un elemento o grupo de elementos oxidados o reducidos a 100% de eficiencia por el paso de una cantidad unitaria de electricidad.

- EROSION IONICA.-** Deterioro de un metal causado por impacto ionico.
- ESMALTE.-** Revestimiento duro, pigmentado, terso de base barniz o alquidal.
- EXFOLIACION.-** Descostrado de una superficie en escamas, capas o estratos.
- FACTOR DE PICADURA.-** La relación de la profundidad de la cavidad, resultante de la corrosión, dividida por la penetración promedio calculada de la pérdida de peso.
- FOSFATIZADO.-** Tratamiento del acero con ácido fosfórico para formar una delgada película de fosfato de hierro. Sirve como enlace o anclaje para recubrimientos subsiguientes.
- FRAGILIZACION CAUSTICA.-** Forma de corrosión por tensión o esfuerzo, que ocurre en el acero en forma de hendedura o grieta, por exposición con soluciones alcalinas.
- FRAGILIZACION POR HIDROGENO.-** Reducción de la resistencia mecánica de un metal por entrada de hidrógeno en la estructura molecular de éste.
- GALVANOSTATICA.-** Técnica de aplicación de corriente directa en un espécimen sumergido en un electrolito. (sinónimo: intensiostática).
- HERRUMBRE.-** Producto de corrosión formado principalmente de óxido de hierro hidratado, término aplicado solamente al hierro y sus aleaciones.
- HUMEDAD CRITICA.-** Es la humedad relativa a la cual la velocidad de corrosión atmosférica de un metal dado, se incrementa bruscamente.

**HUMEDAD RELATIVA.**- Es la relación expresada en porcentaje de la cantidad de agua presente en un volumen dado de aire a determinada temperatura y la cantidad requerida, para saturar el aire a -- esa temperatura.

**INCRUSTACION.**- a) Formación a alta temperatura de fuertes capas de productos de corrosión sobre la superficie de un metal.  
b) Depósito o acumulación de constituyentes insolubles de un líquido (agua) sobre una superficie metálica.

**INDICE LANGELIER.**- Es un cálculo del índice de saturación para el carbonato de calcio, que es útil para predecir el comportamiento de un agua natural.

**INMUNIDAD.**- Estado de resistencia a la corrosión o disolución anódica, - causada por el hecho de que el potencial de electrodo de la superficie en cuestión, está más abajo del potencial de equilibrio para la disolución anódica.

**ION.**- Atomo o grupo de átomos cargados eléctricamente.

**LIMITE DE REACCION.**- Es la mínima concentración de un componente en una aleación bajo la cual toma lugar un ataque apreciable de esta -- aleación en un medio ambiente dado, pero sobre la cual, la - aleación es resistente a la corrosión.

**LINEAS DE CORRIENTE PROLONGADAS.**- Un flujo de corriente a través de tierra, de un área anódica a un área catódica, que retorna a lo largo de una estructura metálica enterrada. Generalmente este - término se aplica solo cuando las áreas están separadas por una distancia considerable y en donde la corriente resulta - de la concentración de la acción de la celda.

- LINEA TAFEL.- (Diagrama Tafel) cuando un electrodo está polarizado, este frecuentemente produce una relación de potencial de corriente sobre una región, que puede ser aprox:
- $$n = + \frac{B}{i_0} \log i/i_0 \quad \text{en donde:}$$
- $n$  = cambio de potencial en circuito abierto  
 $i$  = Densidad de corriente  
 $B, i_0$  = constantes. La cte  $B$  es también conocida como pendiente Tafel. Si este comportamiento se observa en una gráfica -- sobre componentes logarítmicos, se conoce como línea tafel -- y todo el diagrama se conoce como Diagrama Tafel.
- MASTIQUE O MASILLA.- Aglutinante grueso.- Recubrimiento con un pigmento relleno capaz de formar gruesas películas por aplicación (10 -- mils o más).
- MILL SCALE.- Capa de óxido dura y fuerte formada durante la fabricación -- en caliente o en el tratamiento en caliente de metales o aleaciones.
- NOBLE.- Referido a la dirección positiva del potencial de un electrodo, semejando metales nobles, tales como el oro o platino. -- (antónimo: activo).
- OXIDACION INTERNA.- Corrosión subsuperficial por formación de partículas aisladas de productos de corrosión bajo la superficie del metal resultantes de la difusión interna del oxígeno, nitrógeno, -- azufre, etc.
- OXIDACION.- Pérdida de electrones por un constituyente de una reacción -- química.

- PARKERIZADO.-** Tratamiento de la superficie del hierro y acero con solución en caliente de ortofosfato ferroso, para formar una delgada película de fosfato insoluble, muy bien adherida y de buena protección contra la corrosión.
- PASIVACION.-** Es una reducción de la velocidad de la reacción anódica de un electrodo, implicando una reacción electroquímica, como lo es la corrosión.
- PATINA.-** Recubrimiento verdoso que se forma sobre la superficie del cobre y sus aleaciones expuestas a la atmósfera.
- PELICULA.-** Una delgada capa o membrana de material no necesariamente visible.
- PERDIDA DE ADHESION.-** Desprendimiento de la película de recubrimiento del metal por deficiencias en la atracción o por la unión mecánica entre ambos. Esta falla se presenta cuando hay incompatibilidad del recubrimiento o contaminación entre capas.
- PITS.-** Corrosión de una superficie metálica limitada a un punto o -pequeñas áreas, que toman la forma de cavidades.
- POLARIZACION.-** La desviación de potencial de circuito abierto de un electrodo, resultante del paso de corriente.
- POTENCIAL DE CIRCUITO ABIERTO.-** (potencial de corrosión) Potencial de superficie en proceso de corrosión en un electrolito, relativo a un electrodo de referencia. Sinónimos. Pot. de reposo, potencial libre de corrosión.
- POTENCIAL DE DESCOMPOSICION.-** (o voltaje) Es el potencial de una superficie metálica necesario para descomponer el electrolito de una --

elda o una sustancia de este.

**POTENCIAL DE ELECTRODO.**- Es el potencial de un electrodo medido contra un -- electrodo de referencia. El potencial de electrodo no incluye pérdidas de resistencia en potencial en la solución debido al paso de la corriente o a los electrodos.

**POTENCIAL DE ELECTRODO ESTANDAR.**- El potencial reversible para un proceso -- de electrodo, cuando todos los productos y reacciones están en una actividad unitaria, sobre una costra, en la cual el -- potencial para la media celda estandar de hidrógeno es cero.

**POTENCIAL DE EQUILIBRIO.**- Es el potencial de electrodo con referencia a un -- equilibrio estándar, definido por la ecuación de Nernst.

**PRUEBA DE LUGGIN.**- (Capilaridad de Luggin-Haber) Es un sistema para medir el potencial de un especimen, con una densidad de corriente impuesta sobre su superficie, el propósito de la prueba es minimizar -- la celda IR que se incluye en la medición, sin alterar la distribución de la corriente sobre el especimen.

**POTENCIAL DE REPOSO**( Ver pot. de Corrosión).

**POTENCIAL ELECTROPOSITIVO.**- El potencial correspondiente en signo, a los --- miembros activos o anódicos de la serie FEM. Debido a la confusión de signo en la literatura, se sugiere usar el término Potencial Anódico.

**POTENCIA ENVIADA.**- Es la relación entre la densidad de corriente en un punto sobre el especimen y su distancia al electrodo de medición. La -- mayor relación de la resistividad de superficies mostrada por la reacción de electrodo, al volumen de resistividad del electrolito es la Potencia Enviada.

**POTENCIAL ELECTROKINETICO.**- Llamado también Potencial Zeta, es una diferencia de potencial en la solución causada por una carga residual - no balanceada, sobre una superficie adyacente. Esta carga origina un cambio de distribución de carga en la solución inmediata, produciendo una doble capa. El potencial electrocinético causa - el efecto de Electrofóresis, Electroosmosis y Potencial de Sedimentación.

**PROTECCION ANODICA.**- Es una técnica para reducir la corrosión de una superficie metálica, por el paso de una corriente anódica suficiente para causar que el potencial de este electrodo entre y permanezca en la región pasiva.

**PROTECCION CATODICA.**- Técnica para reducir la corrosión de una superficie - metálica por el paso de una corriente catódica, suficiente para hacer que la disolución anódica se vuelva insignificante.

**PROTECCION DE SACRIFICIO.**- La reducción o prevención de la corrosión de un - metal en un electrolito, por acoplamiento galvánico a un metal - más anódico.

**POTENCIAL ELECTROQUIMICO.**- (Tensión Electroquímica) Es la derivada parcial - de la energía electroquímica libre total de un constituyente, -- con respecto al número de moles de este constituyente, en donde todos los factores son mantenidos constantes.

**POTENCIAL MIXTO.**-Es un potencial resultante de dos o más reacciones electro- químicas que ocurren simultáneamente, sobre una superficie metálica.

**POTENCIAL NOBLE.**- Es un potencial más catódico (positivo) que el potencial - estándar de hidrógeno.

POTENCIAL DE HIDROGENO.- Es una medida de actividad del ión hidrógeno, definida por  $P^H = \log 1/a_{H^+}$  en donde:

$a_{H^+}$  = Actividad del ión hidrógeno = concentración molal de -- iones hidrógeno, multiplicada con el coeficiente de actividad media del ión.

REDUCCION.- Ganancia de electrones por un constituyente de una reacción química.

REEMPLAZAMIENTO METALICO.- Es la depositación de un metal desde una solución de sus iones sobre un metal más anódico. Llamado también revestimiento metálico por inmersión.

SERIE DE FUERZA ELECTROMOTRIZ (F.E.M.) Es una lista de elementos, en arreglo de acuerdo a sus potencialidades de electrodo estándar, el signo positivo se antepone a los elementos cuyos potenciales, son catódicos con respecto al hidrógeno y el signo negativo para los anódicos al hidrógeno, esta convención de signo histórica y corrientemente empleada en la literatura europea, ha sido adoptada por la Sociedad Electroquímica y por la NBS. La convención opuesta - ha sido adoptada por la Sociedad Química Americana.

SERIE GALVANICA.- Es una relación de metales y aleaciones, en arreglo de acuerdo a sus potenciales de corrosión relativos en un medio ambiente dado.

SHERARDIZACION.- Procedimiento de aplicación de zinc sobre el hierro y acero a temperaturas por debajo del punto de fusión del zinc.

SOBREVOLTAJE.- Es la diferencia entre el potencial de un electrodo, en el cual toma lugar, una reacción activa y otro electrodo en el equilibrio, para la misma reacción.

**SOBREVOLTAJE DE HIDROGENO.-** Es un sobrevoltaje asociado con la liberación -- de gas hidrógeno.

**SOLDADURA CAREADA.-** Corrosión localizada en la soldadura de un metal.

**TRANSPASIVIDAD.-** La región noble de potencial en donde un electrodo manifiesta una densidad de corriente mayor que la pasiva.

**TUBERCULACION.-** Es la formación de productos de corrosión localizada dispersa sobre la superficie, en forma de protuberancia.

## CONCLUSIONES

Para concluir, retomaremos el tema que se plantea en la introducción de esta tesis.

- El Ingeniero que inicia en el ejercicio de su profesión, comúnmente se encuentra en ambientes incómodos al tratar de coordinar o supervisar el desarrollo de trabajos propiamente en el campo.

- La protección catódica es por lo general una rama de acción de compañías que trabajan por obra determinada (contratistas) las cuales por obvias razones no proporcionan material sobre el tema a menos que sea viejo u obsoleto; incluso las hay que se niegan a ser observadas por personal calificado durante el desarrollo de sus trabajos.

- La teoría de la corrosión ya de por sí se encuentra con dificultad en la literatura, pero la aplicación práctica de los principios para mitigar el fenómeno corrosivo cae en terreno que implica: diversas patentes; manuales de poca circulación; diseños, procedimientos y equipos sofisticados marcadamente en el caso de compañías extranjeras.

- Conocer como se hacen los trabajos en el campo evita al Ingeniero de corrosión cometer errores de tipo práctico y le es de utilidad para sus diseños de instalaciones.

- Proporcionar la más completa información de las situaciones prácticas en el desarrollo y aplicación de la protección catódica fue desde un principio la principal pretensión de esta Tesis. Sus carencias y defectos tal vez sean motivo para generar otros trabajos, ya que el tema es bastante amplio.

- Asimismo insistiremos que el criterio y el sentido común bien aplicados tienen cabida ante situaciones prácticas. Con lo que queremos decir que no todo está escrito en la protección catódica.

## NOTACION USADA

C.C.	-----	Corriente continúa
A.	-----	Amperio, Amper metro
h	-----	hora
Kg	-----	Kilogramo
Lb	-----	Libra
V	-----	Voltio, Voltmetro
Cu	-----	Cobre
CuSO <sub>4</sub>	-----	Sulfato de Cobre
Mg	-----	Magnesio
Zn	-----	Zinc
(+)	-----	Borne Positivo (corriente) Anodo
(-)	-----	Borne Negativo (tierra) Cátodo
p/s	-----	Potencial tubo-suelo
N	-----	Normal (referente a soluciones)
KCl	-----	Cloruro de potasio
m	-----	Metro
mA	-----	Miliamperios
"	-----	Pulgada
ft, ,	-----	Pie
∅	-----	Diámetro
Kw	-----	Kilowatt
cm	-----	Centímetro
S	-----	Segundo
Km	-----	Kilometro
d.c.	-----	Corriente directa
$\Omega$	-----	Ohmio
R	-----	Resistencia
E	-----	Voltaje (diferencia)
I	-----	Intensidad
$\Delta$	-----	Símbolo delta indica: "cambio en "
Ohm-Cm	-----	Unidad de resistividad unitaria
$\rho$	-----	Símbolo Ro, denota resistividad
V	-----	Diferencia de potencial (voltaje)

mm-----Milimetro  
W -----Watt (vatio)  
C.A. -----Corriente alterna  
Log -----Logaritmo  
Cal. -----Calibre (alambre)  
Shunt (inglés)--Derivador de corriente (español)  
Acot.-----Acotamiento  
Eq.-----Equivalente electroquímico  
K -----1000  
P.d.-----Punto de drenaje de corriente  
D.V.-----Derecho de vía  
° C -----Grado Centígrado

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Peabody, A.W. "Principios de Protección Catódica". Asociación Nacional de Ingenieros en Corrosión, N.A.C.E. USA. 1978.
- 2.- Maurin, A.J. "Manual de Anticorrosión". Ed. URMO. España 1966.
- 3.- Fontana, M.G./Greene, N.D. "Corrosión Engineering". Mc Graw Hill.- 1967.
- 4.- Uhlig, Herbert H. "Corrosión Handboock". Ed. John Wiley Inc. 1976.
- 5.- Speller, F.N. "Corrosión Causes and Prevention". Mc Graw Hill N. - York. 1951.
- 6.- Evans, U.R. "Metallic Corrosión, Passivity and Protection Long - Mans". Green & Co. 1948.
- 7.- Evans, Ulick. R. "An Introduction To Metallic Corrosion". E. Ar--- nold. LTD.
- 8.- Fritz, Todt. "Corrosión y Protección". Ed. Aguilar, S.A.
- 9.- Marshall E. Parker. "Pipe Line Corrosion and Cathodic Protection" Gulf Publishing Co.
- 10.- Basic Corrosion Course. NACE. 1978.
- 11.- Laque, F.L. "Introduction to Corrosion". NACE. USA/ 1969.
- 12.- Gilling, C.D. "Instructivo General para la Protección Catódica de Tuberías". Petroleos Mexicanos.

- 13.- Manual de Procedimientos de Protección Anticorrosiva. PEMEX 1984.
- 14.- Especificaciones de Construcción para Protección Catódica. HARCO - Corp. Houston. 1986.
- 15.- Estándares de Ingeniería de Protección Catódica para Sistemas de - Tubería Dentro de la Costa. HARCO. Co. 1986.
- 16.- Catálogo de Materiales para Protección Catódica. HARCO. 1986.