

T
665.54
P419
F. 2

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



"EVALUACION Y MODIFICACION DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA DE
LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA REFINERIA ESTATAL DE ESMERALDAS"

TESIS DE GRADO
Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentada por:
JORGE PEÑA ESTRELLA

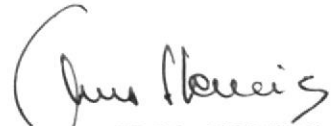
GUAYAQUIL - ECUADOR
1987



BIBLIOTECA



ING. EDUARDO ORCES P.
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



ING. ALBERTO TORRES
DIRECTOR DE TESIS



ING. IGNACIO WIESNER F.
TRIBUNAL DE TESIS



ING. RAFAEL DROUET
TRIBUNAL DE TESIS

A G R A D E C I M I E N T O

BIB. A

A la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

Al ING. ALBERTO TORRES V., Director de Tesis.

A la REFINERIA ESTATAL ESMERALDAS a través del personal del Departamento de Inspección Técnica, cuya valiosa y desinteresada colaboración permitieron la elaboración de este trabajo.

Ing. GALO AGUIRRE (Jefe del Departamento y Director de Tesis).
Ing. JOSE ROMERO. Sr. EDUARDO ARMENDARIZ (Supervisor de Corrosión). Señores: PEDRO BAZAN, DIOCLE DEMERA, JORGE MALDONADO, WINSTON GRACIA, TEOFILO GONZALES y JORGE VASCONEZ.



BIBLIOTECA

D E D I C A T O R I A

A MIS PADRES:

JORGE Y OLIVA

A MIS HERMANOS:

GIOCONDA

GONZALO

DANILO

OMAR

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).


.....
JORGE PEÑA ESTRELLA

R E S U M E N

En el texto de la presente investigación, se pone en práctica todos los conocimientos de las fases que deben estar presentes en un diseño de protección catódica, tales como: mediciones de campo (resistividad eléctrica y PH del suelo, potencial estructura/suelo), datos de la estructura a proteger, criterios en la selección del sistema sea por ánodos de sacrificio ó por corrientes impresas, instalación, mantenimiento y análisis de costos.

Los fundamentos teóricos constituyen la primera fase en donde se analiza los métodos y procedimientos para realizar las mediciones de campo, así como también incluye las ecuaciones para el cálculo de la corriente de protección, número de ánodos, resistencias eléctricas, etc., que son necesarias en el diseño del sistema catódico por ánodos de sacrificio.

Posteriormente se detallan los criterios de diseño del sistema catódico original instalado en los tanques de almacenamiento de Refinería Esmeraldas y hacer una evaluación, según los problemas y fallas detectados (se ad

Junta el Historial del Sistema) en el transcurso de los años que ha funcionado.

Con amplio elementos de juicio y con los resultados obtenidos de las mediciones de campo, se procede a la modificación del sistema original que comprende el diseño propiamente dicho, procedimiento de instalación, recomendaciones para dar mantenimiento y análisis de los costos globales de esta obra de gran importancia para Refinería.

Por último, se realizó la instalación del sistema catódico modificado en dos tanques de asfalto (A0-V6 y A0-V10), que consistió en conectar las camas anódicas a la estructura y realización de pruebas a fin de verificar las condiciones de protección deseadas.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	6
INDICE GENERAL	8
INDICE DE FIGURAS	12
INDICE DE TABLAS	14
SIMBOLOGIA	17
INTRODUCCION	20
I. CAPITULO	22
GENERALIDADES DE LA CORROSION	22
1.1 Principios de la corrosión	22
1.2 La corrosión y su control	26
1.3 Teoría de la Protección Catódica	30
1.3.1 Protección Catódica por ánodos de sacrificio.	36
1.3.2 Protección Catódica por corrien <u>t</u> tes impresas.	40
1.3.3 Protección Catódica de tanques de almacenamiento.	43
1.4 Parámetros de control de los sistemas de Protección Catódica.	47
1.4.1 Potencial natural de la estruc- tura.	48

	Pág.
1.4.2	Potencial estructura/suelo ... 50
1.4.3	Resistividad eléctrica del suelo. 52
1.4.4	PH del suelo 58
1.5	Criterios sobre diseño de sistemas de Protección Catódica. 61
1.5.1	Corriente teórica de protección
1.5.2	Número de ánodos 64
1.5.3	Vida esperada para la cama de ánodos. 70
1.5.4	Resistencias eléctricas del circuito. 71
II.	CAPITULO 80
	EVALUACION DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA ORIGINAL DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA REFINERIA ESTATAL ESMERALDAS. ... 80
2.1	Historia previa 80
2.2	Condiciones de diseño original 83
2.3	Problemas y fallas detectadas 92
2.4	Resultados obtenidos 94
III.	CAPITULO 107
	DISEÑO ACTUAL DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA REFINERIA ESTATAL ESMERALDAS. 107
3.1	Mediciones de campo 108

	Pág.
3.1.1 Potencial natural de los tanques.	108
3.1.2 Potencial estructura/suelo ..	109
3.1.3 Resistividad eléctrica del suelo.	110
3.1.4 Ph del suelo	117
3.2 Procedimiento de diseño para modificación.	124
3.2.1 Diseño	128
3.2.2 Memoria Técnica	138
3.3 Materiales y accesorios a emplearse .	139
IV. CAPITULO	143
INSTALACION Y MANTENIMIENTO DEL NUEVO SISTEMA DE PROTECCION CATODICA.	143
4.1 Planos de instalación	144
4.1.1 Detalle de instalación	145
4.1.2 Plano de las zonas A y B	146
4.1.3 Plano de la zona C	147
4.1.4 Plano de la zona D	148
4.1.5 Plano de la zona E	149
4.1.6 Plano de la zona F	150
4.2 Procedimiento de instalación	151
4.3 Mantenimiento del sistema	160
4.4 Análisis de costos y factibilidad del sistema.	161

BIBLIOGRAFIA

Pág.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	168
APENDICES	173
BIBLIOGRAFIA	180

INDICE DE FIGURAS

Nº		Pág.
1.	Proceso de corrosión por ataque electroquímico.	25
2.	Circuito equivalente de una estructura protegida catódicamente.	33
3.	Representación esquemática del método de Wenner.	54
4.	Perfil de resistividad para un tramo de tubería.	57
5.	Comportamiento de la velocidad de corrosión del acero en función del PH del electrolito.	60
6.	Diagrama de Pourbaix para el sistema conformado por Hierro y agua.	61
7.	Variación de la densidad de corriente de protección con la resistividad.	66
8.	Efecto de la temperatura sobre la velocidad de corrosión del hierro: a) Sistema protegido. b) Sistema sin protección.	67
9.	Factor de corrección para la corriente de protección en función de la velocidad relativa entre electrolito-estructura.	68
10.	Nomograma para calcular la disminución de	

XIII

Nº		Pág.
	la corriente generada por ánodo cuando se conectan en grupo.	72
11.	Vista panorámica de los tanques de almacenamiento.	82
12.	Distribución de la unidad de SETRIA en Refinería Esmeraldas.	84
13.	Anodo de Magnesio en la protección catódica.	88
14.	Medición del potencial estructura/suelo ..	111
15.	Perfil de resistividad del terreno en el Tanque A0-V6.	117
16.	Medición de la resistividad eléctrica del terreno alrededor de los tanques.	119
17.	Peachímetro Beckman Expandomatic para medir PH del terreno.	121
18.	Cronograma para reparación del sistema de protección catódica en los tanques de asfaltos.	153
19.	Estado final que presentan los ánodos desgastados, luego de ser extraídos del suelo.	154
20.	Instalación de los ánodos de Mg, en las respectivas zanjas.	155
21.	Procedimiento de conexión entre los cables eléctricos.	156

INDICE DE TABLAS

BIBL

Nº		Pág.
I.	Anodos galvánicos comerciales. Especificaciones.	38
II.	Anodos inertes. Especificaciones de la densidad de corriente en el ánodo y velocidad de consumo.	43
III.	Potencial de protección para el acero. Medición realizada con diversos electrodos de referencia.	52
IV.	Espaciamientos estandares entre electrodos, factores de multiplicación para obtener la resistividad del terreno.	56
V.	Grado de corrosividad del terreno según rangos de resistividad.	58
VI.	Densidad de corriente de protección para diversas estructuras según TEXACO.	65
VII.	Eficiencia de recubrimiento aplicado en estructuras.	67
VIII.	Factor de forma. Para el cálculo de resistencia en un ánodo, varía en función de la relación longitud/diámetro (L/d).	75
IX.	Factor de paralelismo. Para el cálculo de resistencia en una cama de ánodos, varía en función del número de ánodos.	76

Nº	Pág.
X. Propiedades de los cables eléctricos usados en protección catódica, según código AWG. .	78
XI. Características de operación y almacenaje de los tanques de la unidad de SETRIA en Refinería Esmeraldas.	85
XII. Criterio original para la obtención de la densidad de corriente.	87
XIII. Memoria Técnica del sistema original	90
XIV. Historial de la protección catódica original	
XV. Medición del potencial estructura/suelo (V) (Fecha de las pruebas: Agosto de 1986). .	112
XVI. Medición de resistividad del terreno	116
XVII. Resultados generales de la medición de resistividad.	118
XVIII. Medición del PH del terreno. (Fecha de las pruebas: Octubre de 1986).	122
XIX. Memoria Técnica del sistema modificado ...	140
XX. Resultado de pruebas en el tanque A0-V6 ..	158
XXI. Resultado de pruebas en el tanque A0-V10 .	159
XXII. Costos de los materiales	164
XXIII. Equivalencia entre los electrodos de referencia.	175
XXIV. Potenciales estandares de Oxido-Reducción (REDOX). Empleando electrodo normal de Hidrógeno y a 25°C.	177

Nº	Pág.
XXV. Serie galvánica práctica empleando electrodo de Cu/CuSO ₄ en suelo neutro y agua. ...	178



S I M B O L O G I A

a	=	Distancia entre electrodos en prueba de Wenner
A	=	Amperios
ASTM	=	American Society for Testing Materials
AWG	=	American Wire Gauge
BSI	=	British Standards Institution
C	=	Capacidad de corriente del ánodo
°C	=	Grados Centígrados
CEPE	=	Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana
Dc	=	Densidad de corriente
d	=	Diámetro del ánodo
ec.	=	Ecuación
E	=	Eficiencia del revestimiento
E e/s	=	Potencial estructura/suelo
E _o	=	Potencial de ánodo abierto
F	=	Factor de corrección de velocidad
F _u	=	Factor de utilización del ánodo
Hr	=	Horas
i	=	Corriente de salida del ánodo
I	=	Corriente aplicada a los electrodos exteriores. Método de Wenner.
I _t	=	Corriente teórica de protección
I'	=	Corriente real de protección

XVIII

K	=	Factor de forma en función de L/d
Kg	=	Kilogramos
L	=	Longitud del ánodo
m	=	Metros
mmpa	=	Milímetros por año
n	=	Número de ánodos
NACE	=	National Association of Corrosion Engineers
p	=	Peso del ánodo
P	=	Factor de paralelismo en función de n
PH	=	Potencial Hidrógeno
Pot/nat	=	Potencial natural de la estructura
R	=	Resistencia teórica del circuito
Ra	=	Resistencia de la cama de ánodos
Rc	=	Resistencia del cátodo
Rca	=	Resistencia de los cables eléctricos
R'	=	Resistencia del circuito
ρ	=	Resistividad del suelo
Rv	=	Resistencia de un ánodo
s	=	Espaciamiento entre ánodos
S	=	Area de la estructura en contacto con el suelo
S/.	=	Sucres
SETRIA	=	Sección de Transferencia y Almacenamiento
t	=	Vida esperada de la cama anódica
T	=	Temperatura de operación del tanque
u	=	Unidades
V	=	Voltios
Vc	=	Factor de variación de corriente, cuando los ánodos se conectan en grupo.



ΔV = Diferencia de potencial entre electrodos centrales. Método de Wenner.

I N T R O D U C C I O N

La protección catódica es una de las técnicas más aceptadas a nivel mundial para la protección de los metales (básicamente el acero estructural), sin embargo, en nuestro país es prácticamente desconocida y aplicada en pocas industrias a pesar del notorio crecimiento que se ha venido dando en el sector industrial. De allí, la imperiosa necesidad de desarrollar técnicas propias y la formación de profesionales nacionales debidamente capacitados en esta área, a fin de responder a los requerimientos de instalaciones futuras y justificar los altos costos de adquisición (oleoductos, estructuras enterradas y sumergidas, tanques de almacenamiento, etc.), e ir prescindiendo paulatinamente de la tecnología extranjera.

En Refinería Esmeraldas se tiene extendida una red de protección catódica para los tanques de almacenamiento, la misma que ha presentado una serie de problemas a pocos años de entrar en operación, siendo evidente esta afección en los tanques que almacenan asfaltos. En la actualidad hay un 90% de este sistema que está fuera de servicio.

Se pretende por lo tanto, realizar el estudio respectivo con el objeto de extender la durabilidad del sistema catódico y conocer las razones que motivaron la falla del sistema original.

La metodología a seguir está basada en verificar el grado de conductividad eléctrica del terreno (medición de resistividad), así como también la condición corrosiva del terreno sea esa ácida o alcalina (medición del PH). Obtenidos los resultados de las mediciones propuestas, se procede a la modificación e instalación que estará centrada a las condiciones económicas y de factibilidad de adquirir los materiales que se requieran para el efecto.



BIBLIOTECA

CAPITULO I

GENERALIDADES DE LA CORROSION

1.1 PRINCIPIOS DE LA CORROSION.-

La tecnología metalúrgica a través de los años se ha desarrollado a un ritmo acelerado, a fin de obtener metales y aleaciones con mejores propiedades de los hasta ahora existentes. Esto implica, el modificar en mayor grado el estado estable que tenían sus componentes en su estado inicial. Pero estos elementos tienden a regresar a su estado natural cuando reaccionan con el medio ambiente, dando de esta manera el principio básico de lo que se denomina corrosión de los metales.

La corrosión suele desarrollarse por ataque químico ó en forma electroquímica, esta última la más generalizada y es a la que nos vamos a referir.

La naturaleza de la corrosión electroquímica puede ser comprendida mediante el ataque que sufre el Zinc por efecto del ácido clorhídrico. Pues cuan-

do el Zinc se diluye en el ácido, se produce la siguiente reacción:

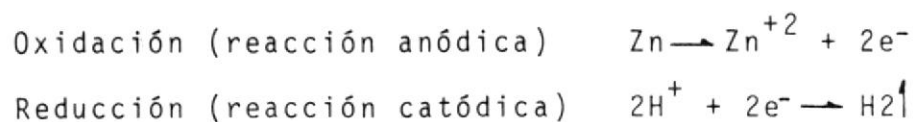


Es de observar que los iones cloruros no se involucran en la reacción anterior, puede escribirse en forma simplificada como:



Entonces el Zinc reacciona con los iones de Hidrógeno de la solución ácida para formar iones de Zinc y gas de Hidrógeno. Examinando la reacción anterior, se puede decir que el Zinc es oxidado a iones de Zinc y que los iones de Hidrógeno son reducidos a Hidrógeno.

Por lo tanto, se puede dividir convenientemente la reacción en dos reacciones:

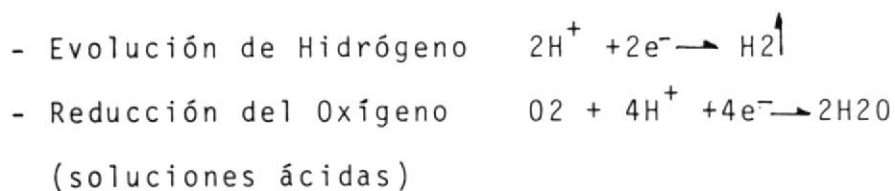


La reacción anódica es indicada por un incremento

en la valencia de la carga ó producción de electrones. El decremento en la valencia ó consumo de electrones significa la reducción ó reacción del cátodo. Estas reacciones ocurren simultáneamente y a la misma velocidad sobre la superficie del metal (en términos de producción de electrones ó consumo).

Lo indicado anteriormente puede ser ilustrado en la Figura 1, en la cual se puede observar que el átomo de Zinc se transforma en ión de Zinc y se producen dos electrones. Estos electrones quedan en el metal e inmediatamente son consumidos durante la reducción de los iones Hidrógeno. Por lo tanto, se puede decir que todo proceso electroquímico consta de una zona anódica, una zona catódica, el electrolito en el que se hallan sumergidos el ánodo y el cátodo, además un conductor metálico que conecte estas zonas .

Reacciones catódicas frecuentemente encontradas en procesos de corrosión son:



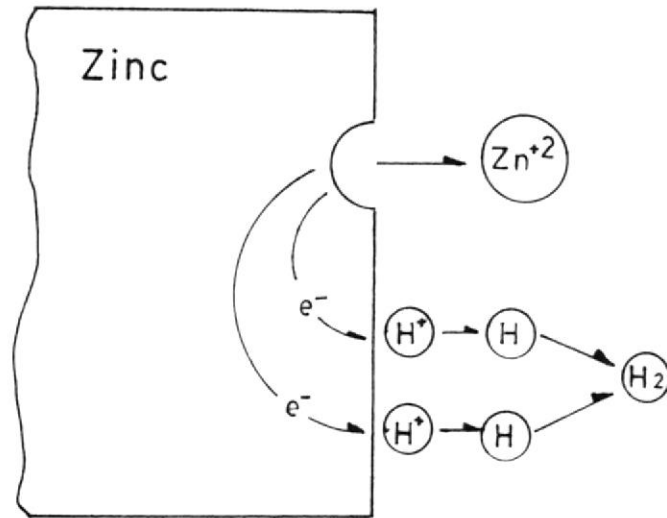


FIGURA 1.- PROCESO DE CORROSION POR ATAQUE ELECTROQUIMICO⁽¹⁵⁾

- Reducción del Oxígeno



- Reducción de un ión metal $M^{+3} + e^- \rightarrow M^{+2}$

- Deposición del metal $M^+ + e^- \rightarrow M$

Existen algunos tipos de celdas galvánicas que causan corrosión entre las que se mencionan (7):

a) Celdas de metal diferente.-

Se establece cuando materiales distintos son utilizados en la construcción metálica y existe contacto eléctrico entre ellos dentro de un electrolito común.

b) Celdas causadas por suelos diferentes.-

Se dá en líneas ó estructuras que pasan a través de suelos diferentes, ocasionando anódicas en los puntos de suelo de menor resistividad.

c) Celdas de concentración diferencial de oxígeno.-

Las estructuras pueden estar en un mismo tipo de suelo, sin embargo algunas zonas pueden ser pobremente aereadas, produciéndose áreas anódicas.

d) Celdas de tubería nueva-tubería vieja.-

Ocurre en áreas de reparación y reemplazo, en contrándose que bajo condiciones similares, el área nueva tiende a fallar con mayor rapidez, esto se debe a que en la tabla galvánica existen diferentes valores de potencial para ambas estructuras, haciéndose anódica la estructura nueva.

1.2 LA CORROSION Y SU CONTROL.-

Teniendo información científica sobre la naturaleza de la corrosión, solo se requiere hacer un análisis racional de cada problema para conseguir la solución más económica en cada caso.

En un problema existente se puede, mediante la observación cuidadosa y el análisis de los agentes que intervienen, conocer y cuantificar la naturaleza de un ataque corrosivo. El mismo conocimiento se puede lograr, para una instalación futura, en las fases de proyecto, conociendo las características inherentes al medio y a los procesos involucrados en el equipo industrial a proteger.

Para plantear una solución es necesario entonces, establecer un programa como a continuación se indica, que subordine los recursos de defensa (4):

a) Alteración del medio.-

El medio puede ser alterado, adicionando inhibidores que reduzcan ó eliminen la acción corrosiva de determinado agente.

b) Cambio de materiales.-

En la mayoría de los casos, cualquier material puede ser sustituido por otro más resistente a la corrosión. Esta posibilidad está subordinada a factores económicos.

c) Aislamiento entre el objeto a proteger y el medio.-

En esta clasificación se tiene la gran variedad de pinturas y recubrimientos tradicionalmente conocidos a base de aceites secantes, alquitranes, bitúmenes, parafinas, resinas naturales y otros materiales orgánicos.

Debe entenderse que no existe un recubrimiento bueno para todo, ya que un recubrimiento excelente para proteger contra cierto medio, puede ser pésimo en otro.

d) Protección catódica.-

Esta técnica es una consecuencia del proceso de corrosión electroquímica, aunque fue empleada por Humphrey Davy en 1824, antes de que la ciencia de la electroquímica sea desarrollada.

Usando este principio se torna posible hacer que toda la estructura que se desea proteger se transforme en una área catódica, transfiriendo las áreas anódicas hacia otro material de pequeño desgaste controlado.

Este sistema está supeditado a ciertas características de la estructura y el medio que lo rodea. En primer lugar, es necesario una continuidad eléctrica en la estructura, así como también la presencia y continuidad eléctrica del electrolito. Otro elemento indispensable es obviamente, la disponibilidad de corriente eléctrica directa a costo razonable, ya sea formando pilas galvánicas mediante el empleo de ánodos de sacrificio ó usando fuentes externas de corriente continua. Más adelante se tratará en detalle estos sistemas.

e) Cambio en los diseños.-

Se aplica a ciertas partes de los equipos, para tratar de eliminar zonas sometidas a tensiones altas, zonas de erosión ó zonas que acumulen depósitos que generan posteriormente corrosión.

f) Combinación de los recursos mencionados.-

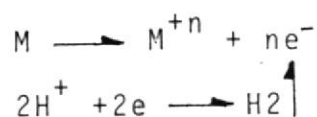
Frecuentemente el estudio por parte de un especialista a un problema de corrosión, da como resultado la selección de una combinación de estos recursos. Esto no puede ser considerado como un método en sí, solo se menciona para enfatizar que el conocimiento y familiarización con los problemas de corrosión, permite considerar los aspectos más complejos en cada caso, dando lugar a soluciones más adecuadas y a costos, tanto iniciales como de operación y mantenimiento, obviamente bajos.

1.3 TEORIA DE LA PROTECCION CATODICA.-

Esta técnica de control es frecuentemente empleada a nivel mundial, de allí que en nuestro medio se hace necesaria su aplicación y desarrollo; pues las nuevas instalaciones de tanques de almacenamiento, ductos para transporte de petróleo y derivados, etc., requieren de este respaldo para garantizar su normal funcionamiento alargando la vida de operación.

Los principios de la protección catódica puede ser

explicado considerando la misma situación de la sección 1.1, mediante las reacciones de disolución del metal y evolución del gas Hidrógeno:



La protección catódica se obtiene por suministro de electrones a la estructura del metal a ser protegido. Examinando las reacciones anteriores, se puede observar que la adición de electrones a la estructura tiende a suprimir la disolución del metal e incrementar la evolución del Hidrógeno. Si consideramos el flujo de corriente de (+) a (-) como la teoría eléctrica convencional, entonces la estructura es protegida si la corriente entra a ésta desde el electrolito.

Por lo tanto, el propósito básico de las instalaciones de protección catódica es detener la circulación de corriente eléctrica continua desde la estructura a proteger a través del suelo en el cual se halla enterrada, lográndose este freno mediante la inyección de corriente continua desde fuentes externas hacia la estructura, imprimiéndole a ésta un potencial de protección tal que supere el potencial de corrosión originado.

La protección catódica no elimina la corrosión, esta la remueve de la estructura a ser protegida y la concentra en una localización conocida donde se descarga la corriente, la cual puede ser calculada, controlada y reemplazada sin interferir en la estructura de interés. La corriente continua necesaria para establecer un sistema de protección catódica puede obtenerse formando una pila eléctrica espontánea usando metales más activos como el Zinc, Aluminio y Magnesio ó bien mediante la impresión de corriente continua por medio de una fuente externa de energía usando rectificadores de corriente alterna (15). En el primer caso la protección recibe el nombre de protección catódica por ánodos de sacrificio, mientras que la otra se la denomina protección catódica por corrientes impresas.

Con el objeto de ilustrar en una forma simplificada el funcionamiento de la protección catódica, se considera conveniente presentar a continuación la Figura 2, en la que se realiza una similitud eléctrica de un circuito equivalente de una estructura protegida catódicamente.

En el esquema presente se observa la adición de la fuente externa de protección de tal manera que el

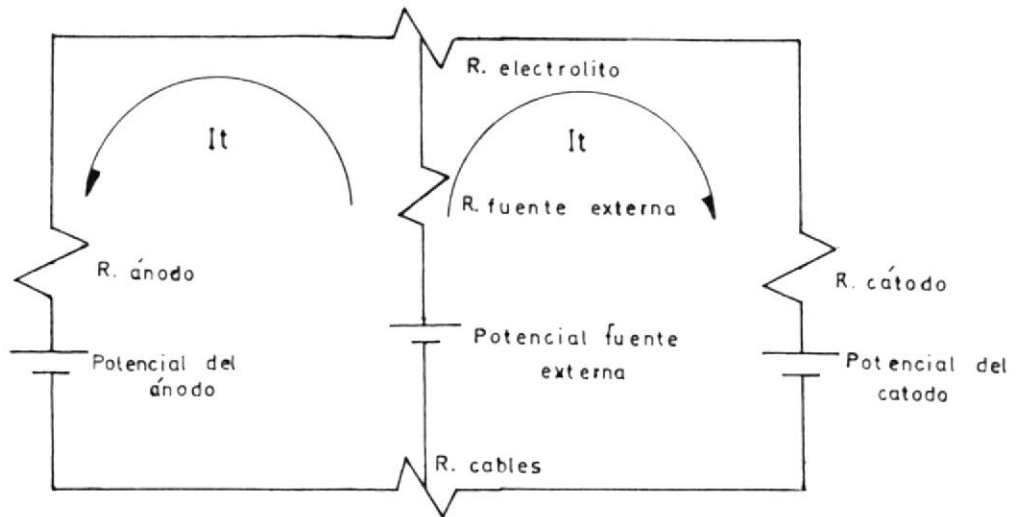


FIGURA 2.- CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA ESTRUCTURA PROTEGIDA CATÓDICAMENTE (16).

área originalmente anódica pasa a recibir corriente desde el electrolito, deteniendo el proceso corrosivo existente. Así mismo el área originalmente catódica pasa a recibir más corriente desde el electrolito. El nuevo ánodo de sacrificio va a ser consecuentemente corroido, pues libera corriente hacia el electrolito, por lo que deberá ser reemplazado transcurrido un cierto tiempo debido al desgaste que experimenta, a menos que se trate de fuentes de corrientes impresas.

La proyección de un sistema catódico requiere de la investigación de características respecto a la estructura por proteger y respecto al medio en el que se encuentra y así proceder a la selección del

tipo de protección a emplear, bajo las siguientes consideraciones(2).

Respecto a la estructura:

- Material de la estructura a proteger, incluyendo condiciones de operación.
- Especificaciones y propiedades del revestimiento.
- Características dimensionales y geométricas de la estructura.
- Localización de estructuras vecinas y verificación si tienen algún tipo de protección.
- Localización y levantamientos cuidadosos de condiciones de operación de líneas de transmisión eléctrica de alta tensión y fuentes de corriente continua, capaces de causar problemas de inducción.

Respecto a las mediciones de campo:

Se presentan dos situaciones distintas:

Estructura en proyecto:

- Medición de la resistividad eléctrica del terre no para saber su grado de corrosividad, se la puede relacionar con la densidad de corriente a utilizar en el proyecto. La resistividad media, es un factor decisivo para escoger el sistema de protección a ser empleado.
- Localización de los lugares para instalar la ca ma de ánodos y/o rectificadores.

Estructura existente:

Además de los pasos citados anteriormente se procura obtener también los siguientes datos:

- Pruebas de potenciales estructura/suelo
- Pruebas de eficiencia del recubrimiento y deter minación de la corriente necesaria de protección.

- Mediciones de corrientes de interferencia
- Determinación del PH del suelo
- Pruebas de corrosión bacterial
- Pruebas de aislamiento de la estructura a proteger con respecto a otras estructuras.

Selección del tipo de protección:

Hechas estas consideraciones, se escoje el tipo de protección sea por ánodos galvánicos o por corrientes impresas y depende básicamente de un análisis técnico-económico.

1.3.1 Protección Catódica por ánodos de sacrificio.-

Se basa en el principio de corrosión electroquímica, donde el metal más anódico se corroe con respecto a otro más noble. Tomando ventaja de este efecto, se establece una fuerte celda de metales discímiles capaz de contrarrestar las celdas de corrosión existentes.

Los metales anódicos ocupan la posición de menor potencial en la serie galvánica (Ver Apéndice B) y su diferencia de potencial con respecto al metal a proteger origina el flujo de corriente que evitará la destrucción de éste.



Entre las características de un buen ánodo se debe tener presente lo siguiente(3):

- Potencial suficientemente electronegativo para asegurar el flujo de corriente.
- Corriente elevada, por unidad de peso del material consumido.
- Buen comportamiento de polarización anódica a través del tiempo. (eficiencia).
- Bajo costo x

En la Tabla I, se presentan los metales y aleaciones comúnmente utilizados como materiales anódicos. Las aplicaciones típicas de los ánodos galvánicos se orientan de la

ANODOS GALVANICOS COMERCIALES. ESPECIFICACIONES (5)

TABLA Nº I

	ALUMINIO					ZINC				MAGNESIO			
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4
Si	0.11	0.10	0.10	0.10	—	0.125	0.003	0.125	—	0.10	0.03	—	0.05
Fe	0.08	0.10	0.23	—	0.13	0.005	0.002	0.0014	0.0014	0.003	0.002	0.03	—
Zn	0.45	0.50	4.50	5.00	4.50	Resto	Resto	Resto	Resto	2.5 - 3.5	0.7 - 1.3	—	—
Cu	0.006	C.O.	0.01	0.01	0.01	0.005	0.005	0.005	0.002	0.02	0.01	0.01	0.05
Al	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto	0.1 - 0.5	0.3 - 0.6	0.4 - 0.6	—	5.3 - 6.7	2.7 - 3.5	0.01	—
Sn	—	—	—	—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	—
Hg	0.045	0.06	—	—	—	—	—	—	0.1 - 0.15	—	—	—	—
In	—	—	0.025	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mg	—	—	—	0.8	—	—	—	—	—	Resto	Resto	Resto	Resto
Pb	—	0.15	—	—	—	0.006	0.005	0.3	—	—	—	—	—
Cd	—	—	—	—	—	0.0025 - 0.15	0.0025 - 0.1	0.075 - 0.25	—	—	—	—	—
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15	0.2	0.5 - 1.3	0.12
Ni	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.002	0.001	0.001	0.01
Eficiencia(%)	95	90	90	90	50 - 80	95	95	95	95	50	50	50	50
Pot. Ag/AgCl(V)	-1.0	-1.05	-1.10	-1.15	-1.10	-1.05	-1.05	-1.05	-1.10	-1.50	-1.50	-1.70	-1.70
C (A Hr / Kg)	2.830	2700	2700	2700	VARIA	780	780	780	780	1230	1230	1230	1230

siguiente forma: Magnesio para estructuras metálicas inmersas en agua dulce ó enterrados en suelo de baja resistividad, hasta los 3000 ohm-cm. Zinc para estructuras metálicas inmersas en agua de mar ó en suelos con resistividad eléctrica de hasta 1000 ohm-cm. Aluminio para estructuras inmersas en agua de mar.

Para mejorar las condiciones de operación de los ánodos en sistemas enterrados, se utiliza el relleno (Backfill), el cual es un producto químico que rodea completamente el ánodo produciendo algunos beneficios como:

- Promover mayor eficiencia
- Desgaste homogéneo del ánodo
- Evita efectos negativos de los elementos del suelo sobre el ánodo.
- Absorben humedad del suelo, manteniendo condiciones estables de operación del ánodo.

La composición típica del relleno está dada por Sulfato de Calcio (20%), Bentonita (75%),

Sulfato de Sodio (5%) y la resistividad de las mezclas varía entre 50 a 250 ohm-cm. Para ánodos de Zinc, es común una mezcla de 50% de Yeso y 50% de bentonita(3).

Existe una correlación entre la resistividad del electrolito y el proceso de corrosión, de allí su importancia en nuestro estudio. Estructuras en contacto con suelos de baja resistividad están propensas a procesos corrosivos acentuados puesto que se tendría alta conductividad eléctrica o lo que es lo mismo mayor facilidad para que el flujo iónico entre la estructura y suelo se desarrolle.

1.3.2 Protección catódica por corrientes impresas ✓

Este sistema, a diferencia del sistema por ánodos de sacrificio, no tiene limitaciones en cuanto a material y diferencia de potencial, ya que el flujo de corriente requerido de protección se origina en una fuente de corriente continua regulable ó simplemente se hace uso de los rectificadores que alimentados de corriente alterna ofrecen una

corriente continua apta para la protección de la estructura. De allí el nombre de corriente impresa en el circuito constituido por la estructura a proteger y la cama ánodica.

Por lo tanto, la fuente de poder dá un potencial de protección regulado de acuerdo a las condiciones de resistividad del electrolito, particularmente el suelo; esta flexibilidad permite a este tipo de protección ser aplicado en todos los casos, para estructuras situadas en medios de baja, media o alta resistividad.

En virtud de que todo elemento metálico conectado con el terminal positivo de la fuente e inmerso en el electrolito es un punto de drenaje de corriente forzado y por lo tanto de corrosión, su dispersión de corriente en el electrolito se efectúa mediante la ayuda de ánodos inertes a fin de proteger la estructura deseada. El circuito formado se cierra lógicamente conectando la estructura a proteger con el terminal negativo de la fuentes de corriente continua.

El sistema de protección por corriente impresa trae consigo el beneficio de que los materiales a usar en la cama de ánodos se consuman a velocidades menores, pudiendo descargar mayores cantidades de corriente y mantener una vida esperada más amplia.

La corriente requerida para la protección mediante corriente impresa dependerá del área de la estructura y de la resistividad del suelo.

Esta corriente de protección fluye del ánodo, al electrolito y de allí a la estructura. El ánodo puede ser similar en forma y tamaño a los galvánicos del sistema anterior; pero en lugar de que el potencial del metal se obtenga del material, este se obtiene de la fuente ó rectificador de corriente directa. No hay por lo tanto, ninguna razón para que el ánodo se corra y será una ventaja particular si es un ánodo permanente. A continuación se presenta en la Tabla II, los diferentes tipos de ánodos que se utilizan en este sistema.

TABLA No. II
ANODOS INERTES

ESPECIFICACIONES DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE EN
EL ANODO Y VELOCIDAD DE CONSUMO ⁽¹⁾

MATERIAL	D_c (A/m ²)	DESGASTE (Kg/Año)
Grafito	3 - 11	0.4
Fe(86%) - Si(14%)	11 - 54	0.2
Fe(82%) - Si(14%) - Cr(4%).	11 - 54	0.4
Pb(93%) - Sn(6%) - Ag(1%)	54 - 110	0.1

1.3.3 Protección catódica de tanques de almacenamiento.-

Los tanques metálicos para almacenar petróleo y derivados están sujetos a procesos corrosivos internos y externos ocasionados por la presencia de electrolitos agresivos (2).

La protección anticorrosiva para las partes aéreas está constituida por pinturas ó re-

vestimientos; mientras que para las partes enterradas o en contacto con el suelo, la aplicación de protección catódica es el medio más eficaz de control contra la corrosión.

La importancia de un control adecuado de corrosión en tanques metálicos va aumentando considerablemente a medida que se proyectan tanques con mayor capacidad, los cuales tienen costos de parada y mantenimiento que son extremadamente elevados.

Para escoger el tipo de protección catódica adecuada entre un sistema galvánico con un sistema de corrientes impresas es conveniente analizar sus ventajas, así como también sus desventajas, respectivamente(6):

POR ANODOS DE SACRIFICIO:

Ventajas:

- Aplicable en casos de demandas pequeñas de corriente, siendo económico hasta cin

co amperios.

- No es necesario el suministro de energía externa.
- Rara vez causa interferencia a otras estructuras.
- Son fáciles de instalar
- Mejor distribución de corriente de protección.
- Mantenimiento simple

Desventajas:

- Potencial y drenaje de corriente limitado
- Limitaciones con la resistividad del electrolito, aplicable para 3000 ohm-cm ó menos.
- Para estructuras no recubiertas ó pobremente recubiertas es alto el costo de protección, fundamentalmente en las de grandes dimensiones.

- La elección del tipo de ánodo a emplear es un problema técnico-económico.

POR CORRIENTES IMPRESAS:

Ventajas.-

- Voltaje y amperaje variable de acuerdo a los requerimientos de protección de la estructura.
- Mayor drenaje de corriente y posee flexibilidad en el control de dicha corriente.
- Aplicable a todo tipo de estructura y cualquiera sea el estado de la misma.
- Protege mayor extensión de la estructura
- Permite menor costo por ampere drenado

Desventajas.-

- La adquisición e instalación de los equipos, tales como rectificador, ánodos, etc, es relativamente costosa.



- Alto costo de mantenimiento

- Podría causar interferencia con estructuras vecinas.

1.4 PARAMETROS DE CONTROL DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA.-

Después de analizadas las informaciones anteriores, el ingeniero de corrosión organiza su programa de mediciones de campo y de acuerdo a las necesidades escogerá la técnica adecuada empleando así mismo, los instrumentos y equipos que tenga a disposición. Siendo pues, la experiencia de trabajos ejecutados lo que dará una mayor confiabilidad al proyecto a desarrollarse.

Existen parámetros de control que deben ser analizados ya que en base a estos el diseñador dimensionará el grado de destrucción a que está sometida la estructura, en nuestro caso los tanques de almacenamiento de derivados de petróleo. Tales parámetros son:

a) Potencial natural de la estructura a proteger

- b) Potencial estructura/suelo
- c) Resistividad eléctrica del suelo
- d) PH del suelo

Estos comprenden la fase de levantamiento de datos en el campo, por que se los obtiene en el lugar donde va a ser instalado el sistema de protección. Luego del análisis de esta información, se está en condiciones de establecer la cantidad de corriente a suministrar como protección; así como también el voltaje para entregar el número de amperios requeridos. A partir de este punto, el problema se reduce a hallar el método más adecuado y por supuesto el que más convenga económicamente.

1.4.1 Potencial natural de la estructura.-

La medición del potencial de un metal expuesto a procesos corrosivos es muy útil en el estudio de los recursos de defensa y puede obtenerse fácilmente determinando la diferencia de potencial existente entre dicho metal ya sea enterrado ó sumergido en un medio corrosivo y un electrodo de referencia apropiado.

El empleo de dicho electrodo de referencia es imprescindible en vista de que constituye por si solo un potencial de media celda, así como también lo es el potencial de media celda estructura/suelo ó independientemente el potencial de media celda entre el sistema ánodos/suelo; teniendo presente que para medir la diferencia de potencial de estos, se requiere una celda completa, unión metálica y unión electrolítica.

Los electrodos de referencia más utilizados en protección catódica son(12):

- Hidrógeno	H^+ / H_2
- Calomelano	$Hg / Hg_2 Cl_2$
- Zinc puro	Zn
- Plata/Cloruro de Plata	$Ag / AgCl$
- Cobre/Sulfato de Cobre	$Cu / CuSO_4$

La medición se realiza con voltímetros de alta resistencia interna (50.000 ohm/volt) con la finalidad de que la lectura no sea influenciada por la resistencia del circuito instalado⁽¹⁾. En vista que los voltajes que se miden son negativos, lo que se hace

es invertir la polaridad y se obtienen lecturas positivas en el voltímetro; es decir, conectar el terminal negativo a la estructura que se desea probar y el terminal positivo al electrodo de referencia.

Por ejemplo, si una diferencia de potencial de 400 mV es obtenida cuando la estructura es conectada al terminal negativo del voltímetro y la media celda de referencia de Cu/CUSO₄ al terminal positivo de este, el valor real de la lectura es de -400 mV contra el electrodo dado.

Ahora bien, el potencial natural es pues el valor obtenido en estas mediciones cuando la estructura está originalmente sin protección catódica. Este potencial puede ser conocido para la mayoría de los metales, aunque su valor sea diferente de acuerdo al medio donde se lo tome.

1.4.2 Potencial estructura/suelo.-

Cuando se aplica protección catódica a una estructura es importante saber si la estruc

tura será realmente protegida en toda su ex tensión. Existen varios criterios para asu mir que la estructura se encuentra exenta a riesgos de corrosión, siendo el más indi cativo y universalmente conocido y aceptado el criterio del máximo potencial entre es tructura y electrolito.

Este criterio obtenido en base a la expe riencia de quienes trabajan en esta profe sión, establece que utilizando un determina do electrodo de referencia, para que la es tructura esté protegida contra la corrosión, esta deberá poseer un valor de potencial me nor o igual que el potencial máximo estable cido.

Es de suponer entonces, que la medición del potencial estructura/suelo se realiza cuando el sistema de protección catódica ya ha sido diseñado e instalado, tal que se verifique el potencial máximo de protección.

Para el trabajo presente de investigación que se está realizando en Refinería Esmeral das, se tiene a disposición el voltímetro

M.C. Miller, modelo 1A, que tiene incorporado un electrodo de referencia de Cu/CuSO₄, el cual sirve exclusivamente para medir potencial estructura/suelo.

En la Tabla III, se presenta el potencial de protección para el acero, medido con diferentes electrodos de referencia.

TABLA III
POTENCIAL DE PROTECCION PARA EL ACERO
MEDICION REALIZADA CON DIVERSOS ELECTRODOS DE REFERENCIA ⁽⁵⁾

ELECTRODOS DE REFERENCIA	POTENCIAL (V)
Cobre/Sulfato de Cobre	-0.85
Zinc puro	0.25
Plata / Cloruro de Plata	-0.80
Hidrógeno	-0.62
Calomelano saturado	-0.78

1.4.3 Resistividad eléctrica del suelo.-

La resistividad eléctrica es la recíproca

de la conductividad ó capacidad para conducir la corriente eléctrica. Los conductores poseen una resistividad perfectamente definida por ser elementos homogéneos; en cambio los semiconductores (suelo, agua) poseen una resistividad difícil de conocer, dadas las condiciones de heterogeneidad de los mismos, por lo que su resistividad depende de la concentración de sales y el contenido de humedad(6).

El grado de agresividad de un terreno en particular, puede ser cuantificado midiendo la capacidad de este a conducir electricidad. Uno de los métodos más utilizados para medir la resistividad del terreno es el de los cuatro electrodos, o llamado también de Wenner.

El método de Wenner emplea cuatro electrodos de Cobre hincados en línea sobre el suelo a distancias equidistantes que representan la profundidad del suelo. Los dos de los extremos que se denominan de corriente C1 y C2 son conectados a una fuente de corriente continua en serie con un amperímetro. Los dos electrodos interiores denominada

dos de tensión P1 y P2 se conectan a un voltímetro de alta resistencia interna. Ver Figura 3.

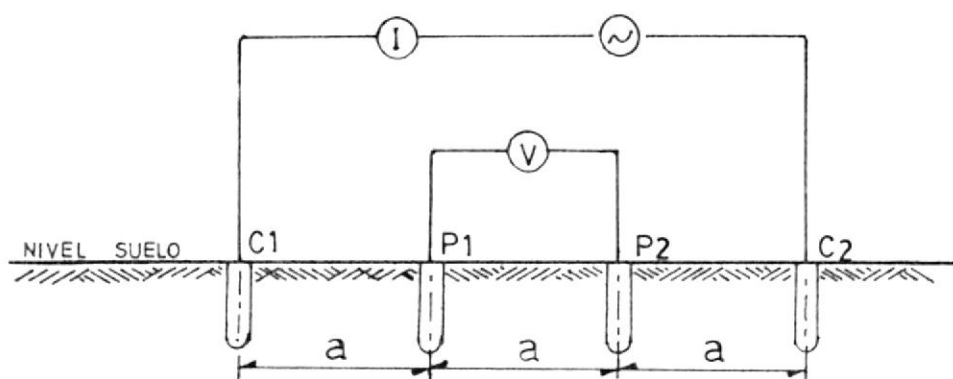


FIGURA 3.- REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL METODO DE WENNER(1).

Antes de accionar el circuito, el primer paso es medir el potencial inicial que tienen los electrodos centrales. Cuando se acciona el circuito, una corriente fluye a tierra desde los electrodos C1 y C2 creando un campo eléctrico en el medio y una consecuente diferencia de potencial entre los electrodos P1 y P2. Medida la intensidad de corriente y la caída de potencial originada por la misma, el valor de la resistividad es de cálculo inmediato mediante la siguiente ecuación(3):

$$\rho = 2 \pi \cdot a \Delta V / I \quad (1)$$

Donde:

- ρ = Resistividad del suelo (ohm-cm)
- a = Distancia entre electrodos (cm)
- ΔV = Diferencia de potencial (V)
- I = Intensidad de corriente (A)

A fin de facilitar las operaciones en el campo, el factor $2\pi a$ es transformado a números enteros utilizando espaciamientos estandarizados entre electrodos que representan la profundidad. La Tabla IV indica dichos valores.

Para tener un conocimiento más claro sobre la medición de resistividades, se plantea el siguiente ejemplo: Supóngase que el espaciamiento entre electrodos es de 0.79 m y que las lecturas de potencial que se obtuvieron son de 0.12 Volt. sin corriente y 0.36 Volt con 75mA de corriente; la diferencia de potencial es 0.24 Volt y la resistividad entre electrodos centrales es $240 \text{ mV} / 75 \text{ mA} = 3.2 \text{ Ohm}$. Utilizando el factor apropiado para el espaciamiento, se tiene:



TABLA N° IV

BIBLIOTECA

ESPACIAMIENTOS ESTANDARES ENTRE ELECTRODOS,
FACTORES DE MULTIPLICACION PARA OBTENER
(3)
LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

PROFUNDIDAD (m)	ESPACIAMIENTO (m)	FACTOR (cm)
0.61	0.79	500
1.52	1.60	1.000
2.13	2.39	1.500
3.05	3.20	2.000
3.96	3.99	2.500
4.57	4.78	3.000

$$\rho = 3.2 \times 500 = 1600 \text{ Ohm-cm.}$$

Cuando se realizan mediciones de resistividad del suelo en zonas extensas, es común interpretar los resultados mediante el empleo de los llamados perfiles de resistividad. De tal manera, que se observen los puntos en donde la estructura a proteger está siendo atacada por el suelo en mayor ó menor grado. Ver Figura 4.

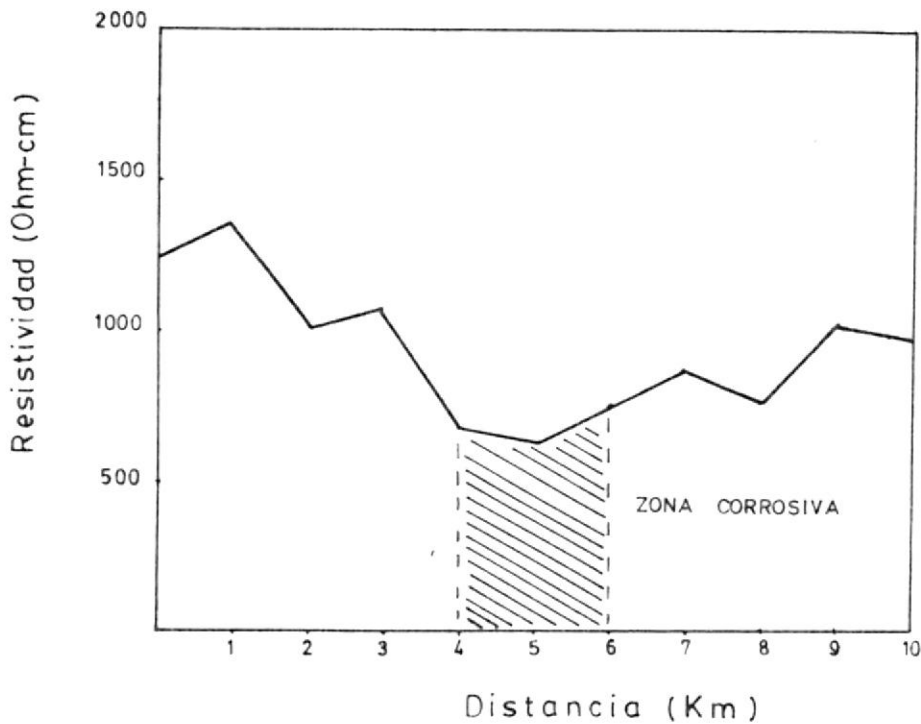


FIGURA 4.- PERFIL DE RESISTIVIDAD PARA UN TRAMO DE TUBERIA.

Según los valores que se obtengan de las me
diciones de resistividad del terreno, se es
tablecerá el grado de corrosividad del suelo
como se indica a continuación en la Tabla V.

TABLA V

GRADO DE CORROSIVIDAD DEL TERRENO SEGUN RANGOS DE
RESISTIVIDAD⁽⁷⁾

RESISTIVIDAD(Ohm-cm)	GRADO DE CORROSION
Menor de 1000	Muy corrosivo
De 1000 a 5000	Corrosivo
De 5000 a 10.000	Moderadamente corrosivo
De 10.000 en adelante	Poco corrosivo

1.4.4 PH del suelo.-

Los potenciales de media celda de los metales medidos con el electrodo de Hidrógeno ($H + /H_2$) toman el nombre de potenciales REDOX los cuales,ordenando a los metales iniciando con el potencial más positivo hasta el más negativo se obtiene la Serie Electroquímica que es muy útil, ya que puede ser

utilizada para predecir si un metal es o no corroído en un medio dado.

El uso de los potenciales REDOX puede ser extendido graficando la variación del potencial de electrodo como función del Potencial Hidrógeno (PH) de un electrolito. Estos diagramas se conocen con el nombre de Pourbaix y ayudan también a determinar si habrá o no corrosión en el metal.

Recordando que el PH es el Logaritmo negativo de la concentración de iones Hidrógeno, un PH de 7 indica que se tiene 1×10^{-7} iones gramo de Hidrógeno por litro de solución y corresponde a una solución neutra. PH = 0 representa una solución muy ácida en cambio un PH = 14 representa una solución muy alcalina.

La velocidad de corrosión para el acero normalmente se incrementa cuando el electrolito tiende a hacerse más ácido, por lo que hay que evitar que esta condición ocurra. La Figura 5 indica la variación de corrosión del acero con respecto al cambio de PH que

es función de la composición del electrolito(5).

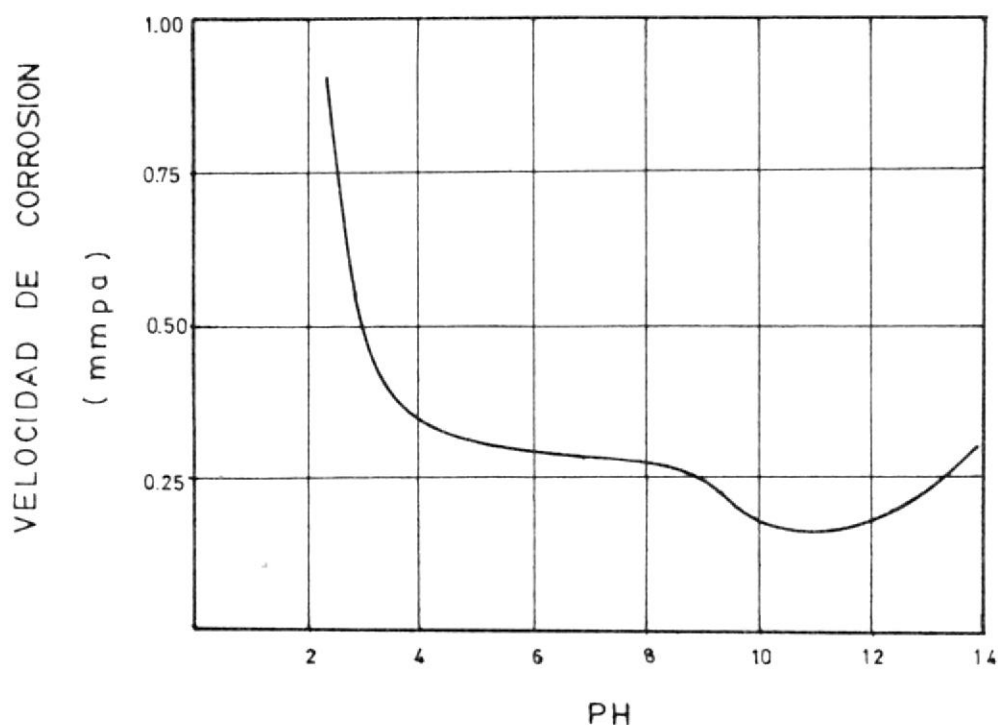


FIGURA 5.- COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DE CORROSION DEL ACERO EN FUNCION DEL PH DEL ELECTROLITO(5).

El Diagrama de Pourbaix que se presenta en la Figura 6, se utiliza con bastante aproximación para el acero. En él se observa, las regiones donde se produce corrosión del Hierro produciendo iones férricos, ferrosos, hidróxidos, etc., así también se observa la zona de inmunidad (área sombreada).

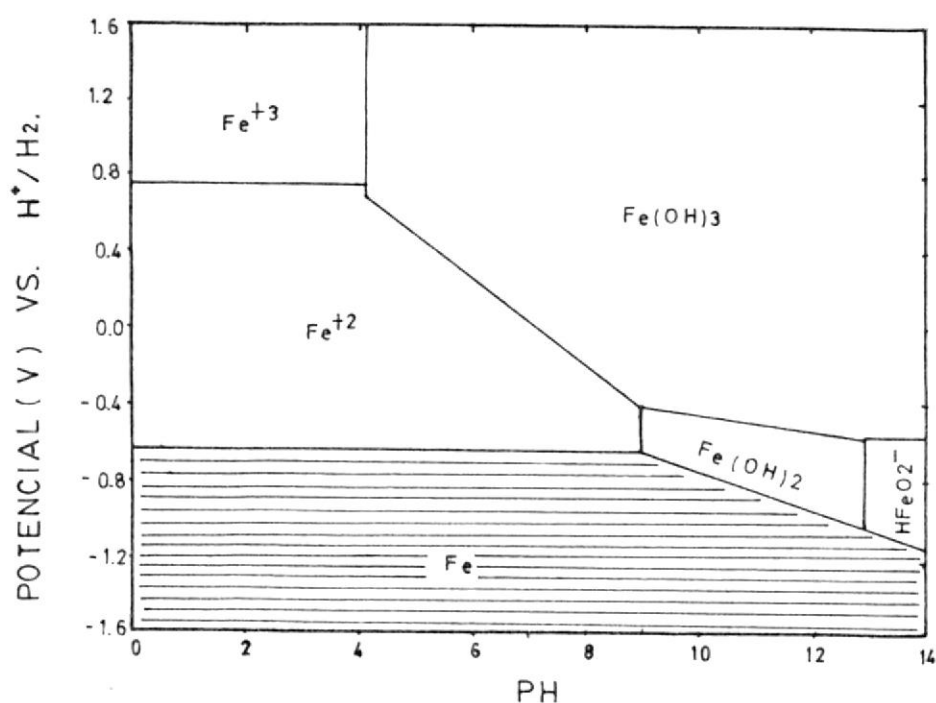


FIGURA 6.- DIAGRAMA DE POURBAIX PARA EL SISTEMA CONFORMADO POR HIERRO Y AGUA ⁽⁹⁾.

1.5 CRITERIOS SOBRE DISEÑO DE SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA.-

El diseño de protección catódica obedece a una sistemática simple, tratando en lo posible de que sea eficiente y económica. Influyen en los detalles de diseño y construcción los parámetros anteriormente estudiados así como también datos geométricos de la estructura a proteger, etc., ya que en base a estos el proyectista determina la alternativa más idónea.

Como aspecto importante los puntos a determinar son (9):

- a) Puntos de drenaje de corriente
- b) Corriente requerida para la protección

Para obtener un diseño simplificado, se deberá reducir al mínimo los puntos de drenaje de corriente, es decir tratar de espaciar dichos puntos entre sí lo máximo posible en función del tipo de estructura y calidad de recubrimiento si lo hubiere.

Una vez determinado el espaciamiento entre puntos de drenaje se procede a calcular la corriente mínima de protección aplicable en cada punto.

En la práctica, para estimar la corriente de protección se recurre a relaciones que involucran área de estructura, densidad de corriente a aplicar y ciertos factores de corrección que más adelante se los analiza con detalle.

Debido a la orientación que tiene el presente trabajo de investigación, interesa sobre manera el estudio del sistema por ánodos de sacrificio, dejando

como referencia la protección de corrientes impresas.

Un modelo secuencial de los pasos a seguir en el dimensionamiento del sistema catódico, una vez ejecutadas las mediciones de campo; puede ser orientado de la siguiente manera:

- Datos de la estructura a proteger y suelo: Area en contacto con el suelo, temperatura de operación, resistividad eléctrica y PH del suelo, potencial estructura/suelo.
- Puntos de drenaje de corriente desde la estructura.
- Cálculo de la corriente teórica de protección
- Selección del tipo de ánodo a utilizar: Material, dimensiones, peso, factor de utilización, capacidad de corriente, potencial del ánodo abierto.
- Determinación del número de ánodos
- Vida esperada para la cama de ánodos

- Resistencias eléctricas del circuito

1.5.1 Corriente teórica de protección.-

Puede ser calculada independientemente del tipo de sistema que se utilice, sea por ánodos de sacrificio ó por corrientes impresas. Está dada por la ecuación (1):

$$I_t = S \cdot D_c \cdot F(1-E) \quad (2)$$

Donde:

I_t = Corriente teórica de protección (mA)
 S = Area de la estructura a proteger (m²)
 D_c = Densidad de corriente (mA/m²)

Se la puede relacionar en función de la resistividad del electrolito, a través de la siguiente ecuación⁽²⁾:

$$D_c = 13.35 \lg \frac{(10^{5.523})}{\rho} \quad (3)$$

Esta determinación de la densidad de corriente puede ser también efectuada por la Figu-

ra 7, que se presenta a continuación.

El criterio de la determinación de la densidad de corriente es muy discutido, siendo en muchas ocasiones obtenido en base a la experiencia del proyectista. Por ejemplo, según varios autores(2) se da una D_c entre 3 a 10 mA/m² para terrenos de alta resistividad y para suelos con baja resistividad de 10 a 60 mA/m².

A continuación se presenta la Tabla VI que recomienda valores de densidad de corriente para diversos tipos de estructuras.

TABLA VI
DENSIDAD DE CORRIENTE DE PROTECCION PARA DIVERSAS ESTRUCTURAS⁽⁵⁾

ESTRUCTURA	DC (mA/m ²)
Tubería poco profunda	10 -20
Tubería revestida	10
Fondo de tanque (exterior)	10
Fondo de tanque (interior)	50 - 100
Estructura mar a dentro	10 - 20

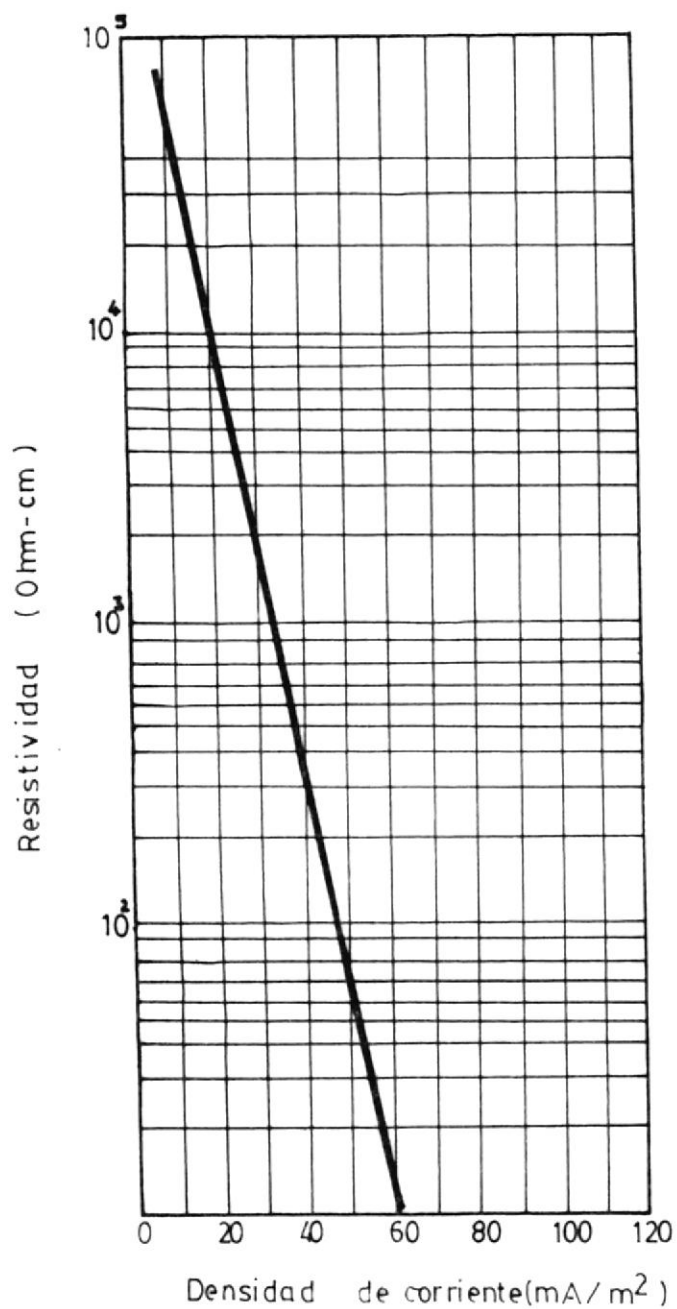


FIGURA 7 .VARIACION DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE DE PROTECCION CON LA RESISTIVIDAD. (2)

La British Standards Institution (BSI) coincide con el valor de D_c respecto a los tanques de almacenamiento de la Tabla VI, pero incluye una corrección cuando los tanques operan con fluidos pasados los 60°C , de temperatura. En el Código CP1021 (1973) de la BSI se establece una $D_c = 20\text{m Amp/m}^2$ para contrarrestar el efecto de la temperatura sobre la corrosión del acero. Este comportamiento del acero fue estudiado por Speller (8), el cual relacionó la velocidad de corrosión con la temperatura en dos condiciones: Con protección y sin protección. Figura 8.

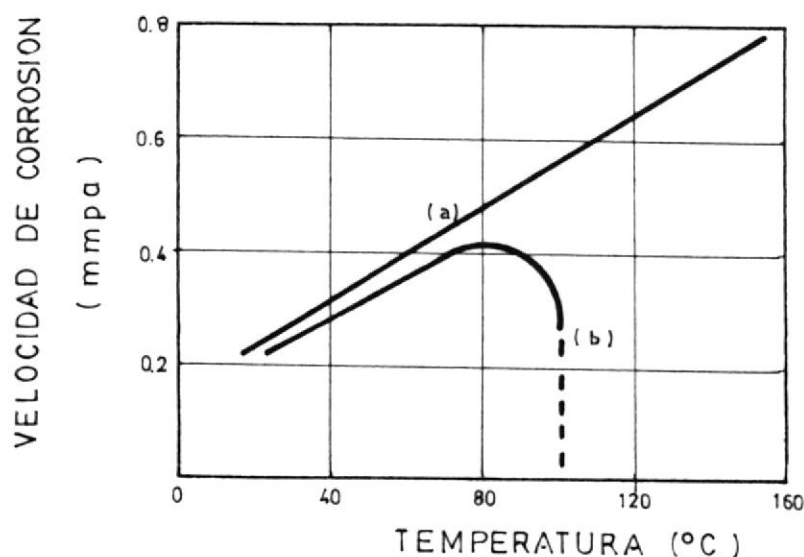


FIGURA 8.- EFECTO DE LA TEMPERAURA SOBRE LA VELOCIDAD DE CORROSION DEL HIERRO: A) SISTEMA PROTEGIDO, B) SISTEMA SIN PROTECCION. (8).

No está por demás incluir el criterio de PETROBRAS que dan para tanques sometidos a temperaturas sobre los 80°C y resistividad de 300 ohm-cm , un valor de $D_c = 30\text{ mA/m}^2$.

F: Factor de corrosión de velocidad, aplicable cuando existe movimiento relativo entre estructura y electrolito. Ver Figura 9.

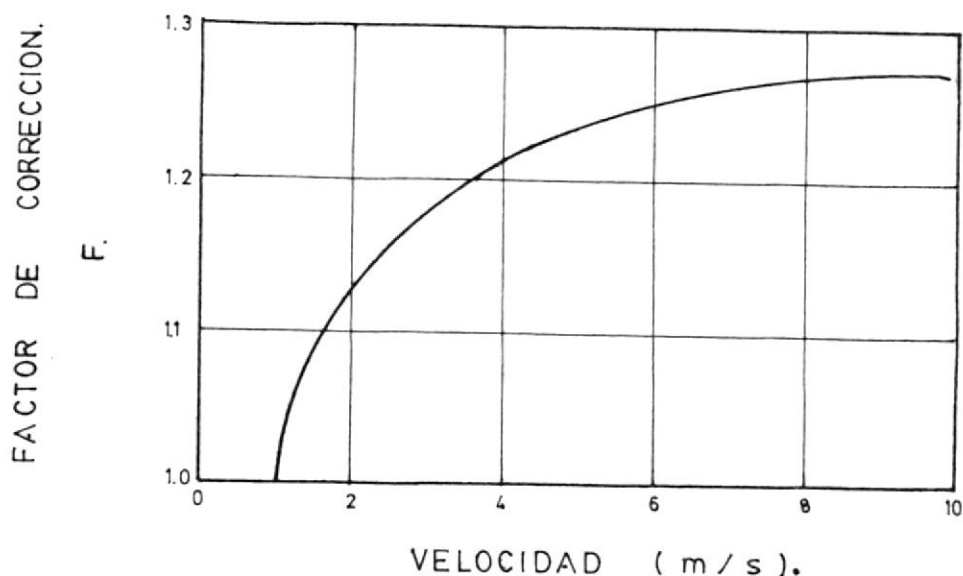


FIGURA 9.- FACTOR DE CORRECCION PARA LA CORRIENTE DE PROTECCION EN FUNCION DE LA VELOCIDAD RELATIVA ENTRE ELECTROLITO ESTRUCTURA, ⁽¹⁾

E: Eficiencia del revestimiento. En la Tabla VII, se presentan para diversos ti-

TABLA VII

EFICIENCIA DE RECUBRIMIENTO APLICADO EN ESTRUCTURAS (2)

ESTRUCTURA	CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO	EFICIENCIA	
		Inicial (%)	Final (%)
OLEODUCTOS	Excelente	95	90
	Bueno	90	80
	Regular	80	50
	Malo	50	--
FONDO DE TANQUES (EXTERIOR)	Bueno	80	60
	Regular	60	40
	Malo	40	--
FONDO DE TANQUES (INT)	Excelente	95	90
EMBARCACIONES	Ecelente	95	90
	Bueno	90	80
	Regular	80	50
	Malo	50	--

pos de estructura. Naturalmente una estructura revestida necesitará para su protección de una cantidad de corriente menor que la que tendría en caso de que esté sin revestir.

1.5.2 Número de ánodos.-

Conocida ya la cantidad de corriente que se va a suministrar, se procede a calcular el

número de ánodos no sin antes de haber hecho la selección respectiva de estos y conocer las características propias, ya que difieren de acuerdo a especificaciones dadas por el fabricante. La ecuación es la siguiente(1):

$$n = It/i \quad (4)$$

Donde:

n = Número de ánodos

It = Corriente teórica de protección (mA)

i = Corriente de salida de cada ánodo (mA)

1.5.3 Vida esperada para la cama de ánodos.-

La vida de la cama de ánodos está dada por la siguiente ecuación(2):

$$t = p.C.Fu/8760.i.Vc \quad (5)$$

Donde:

t = Vida esperada (años)

p = Peso del ánodo (Kg)

C = Capacidad de corriente del ánodo (Ahr/Kg).

F_u = Factor de utilización, para el Magne
sio vale 0.85.

8760= Número de horas en un año

i = Corriente de salida por ánodo (A)

V_c = Factor de variación de corriente,
cuando los ánodos se conectan en gru
po, se determina mediante el nomogra
ma que se presenta en la Figura 10.

1.5.4 Resistencias eléctricas del circuito.-

En este análisis se distinguen dos resisten
cias que obtenidas de diferentes formas de
berán cumplir con la condición de que el sis
tema opere en condiciones normales, es de
cir(1):

$$R \cong R' \quad (6)$$

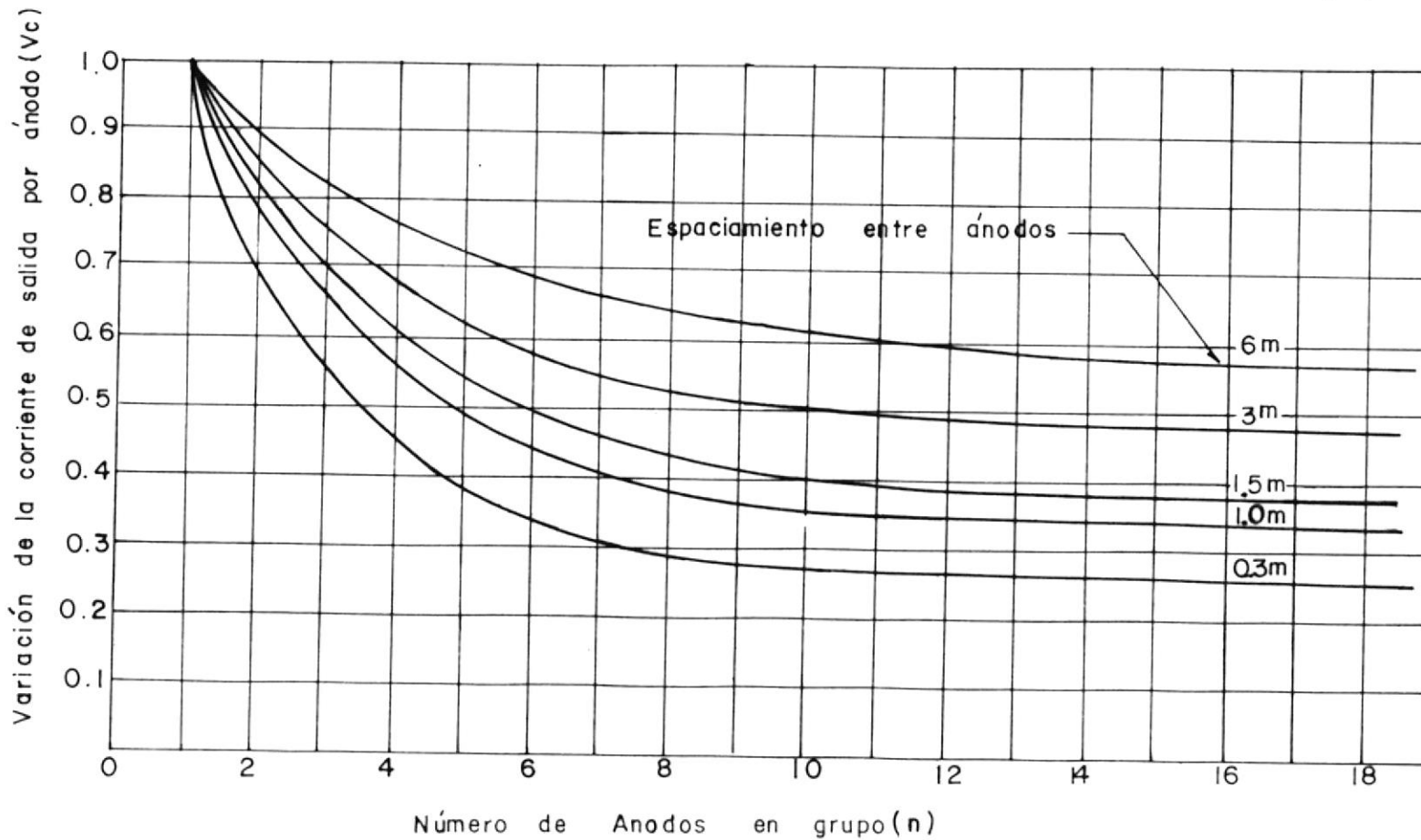
O sea

$$R = (E_o - E_e/s)/I_t \quad (7)$$

Donde:

R = Resistencia teórica del circuito (Ohm)

Fig. 10.- NOMOGRAMA PARA CALCULAR LA DISMINUCION DE LA CORRIENTE
 GENERADA POR ANODO CUANDO SE CONECTAN EN GRUPO (10)



E_o = Potencial del ánodo en circuito abierto (V).

$E_{e/s}$ = Potencial estructura/suelo (V)

I_t = Corriente teórica de protección (A)

Además:

$$R' = R_a + R_{ca} + R_c \quad (8)$$

Donde:

R' = Resistencia del circuito (Ohm)

R_a = Resistencia de la cama de ánodos (Ohm)

Existen varias ecuaciones para su cálculo dependiendo de la posición en que sean colocados: en forma vertical o en forma horizontal.

Según la Duriron Company se establece las siguientes ecuaciones(1):

$$R_v = \rho \cdot K/L \quad (9)$$

Donde:

- R_v = Resistencia de un ánodo en posición vertical (Ohm).
- ρ = Resistividad del electrolito (Ohm-cm).
- K = Factor de forma, el cual relaciona la razón entre la longitud y diámetro (L/d). Sus valores están dados por la Tabla VIII.
- L = Longitud del ánodo (cm)

$$R_a = R_v/n + \rho \cdot P/s \quad (10)$$

Donde:

- R_a = Resistencia de la cama de ánodos (Ohm)
- R_v = Resistencia de un ánodo (Ohm)
- n = Número de ánodos
- ρ = Resistividad del electrolito (Ohm-cm)
- s = Espaciamiento entre los ánodos, siendo común cada 1.5, 3, 4.5, 6 y 7.5.
- P = Factor de paralelismo, dado en función del número de ánodos. Ver Tabla IX.
- R_c = Resistencia de la estructura, la cual se considera despreciable debido a

TABLA No. VIII

F A C T O R D E F O R M A

PARA EL CALCULO DE RESISTENCIA EN UN ANODO, VARIA EN FUNCION DE LA
RELACION LONGITUD / DIAMETRO (L/d.)⁽¹⁾

RELACION L/d	FACTOR DE FORMA K
5	0.4267
6	0.4572
7	0.4816
8	0.5029
9	0.5212
10	0.5395
12	0.5669
14	0.5913
16	0.6126
18	0.6309
20	0.6492
25	0.6828
30	0.7132
35	0.7376
40	0.7590
50	0.7960
55	0.8108
60	0.8230

TABLA No. IX

F A C T O R D E P A R A L E L I S M O
 PARA EL CALCULO DE RESISTENCIA EN UNA CAMA DE ANODOS, VARIA EN FUN-
 CION DEL NUMERO DE ANODOS. (1)

NUMERO DE ANODOS n	FACTOR DE PARALELISMO P
2	0.0796
3	0.0881
4	0.0863
5	0.0817
6	0.0768
7	0.0722
8	0.0683
9	0.0646
10	0.0613
12	0.0555
14	0.0512
16	0.0472
18	0.0442
20	0.0411
22	0.0390
24	0.0369
26	0.0347
28	0.0332
30	0.0317

las grandes áeras de los tanques.

Rca = Resistencia de los cables eléctricos (Ohm). La Tabla X presenta los cables más utilizados en protección catódica según el Código de la American Wire Gauge (AWG).

Ya realizado el análisis respectivo de las resistencias eléctricas presentadas en esta sección y una vez que se ha cumplido con la condición propuesta en la Ec. (6), el paso siguiente es realizar otra verificación de que el sistema a instalar otorge la protección debida a la estructura en estudio (en nuestro caso al fondo de los tanques de almacenamiento que conforman la unidad de SETRIA en Refinería Esmeraldas).

Este último análisis, consiste en obtener la corriente real de protección en base a la resistencia del circuito conformado por cama anódica (R'), utilizando para tal efecto la Ec. (7).

T A B L A No. X

PROPIEDADES DE LOS CABLES ELECTRICOS USADOS EN PROTECCION CATODICA,
SEGUN CODIGO AWG ⁽¹⁾.

CODIGO AWG	CORRIENTE MAXIMA (A)	RESISTENCIA (Ohm/Km.)	DIAMETRO EXTERIOR (mm)
14	15	8.44	5.6
12	20	5.30	6.0
10	30	3.34	6.6
8	45	2.10	8.1
6	65	1.34	10.3
4	85	0.83	11.5
2	115	0.52	13.1
1/0	150	0.33	16.7
2/0	175	0.26	17.9
3/0	200	0.20	19.2
4/0	230	0.16	20.6

Es decir:

$$I' = (E_0 - E_e/s) / R'$$

Esta corriente obtenida se compara con la respectiva corriente teórica de protección (por cama anódica) y que fue calculada anteriormente en la Ec.(2).

Por lo tanto, se debe cumplir:

$$I' \geq I_t$$

Que es la condición que dá mayor confiabilidad de que el sistema a instalar opere satisfactoriamente, ya que la corriente real que drena el sistema es mayor ó igual a la corriente teórica calculada.

En este capítulo se ha tratado de cubrir con los aspectos más relevantes sobre el dimensionamiento de un sistema de protección catódica, quedando pendiente su aplicación y ejecución que es materia de análisis en los capítulos a tratar a continuación.

CAPITULO II



EVALUACION DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA ORIGINAL DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA REFINERIA ESTATAL ESMERALDAS

2.1 HISTORIA PREVIA.-

La Refinería Estatal Esmeraldas entró a operación con sus unidades en el año de 1977, iniciando así una nueva etapa en el desarrollo industrial de nuestra nación. Además de las unidades de proceso que la integran, cuenta con la sección de transferencia y almacenamiento (SETRIA) y está conformada por alrededor de cuarenta tanques de diferentes capacidad que almacenan y distribuyen los productos derivados del petróleo. Por ser este trabajo referente al sistema de protección catódica de los tanques de almacenamiento, nos limitaremos a investigar todo lo relacionado a la unidad de SETRIA, sin entrar en detalle con las otras unidades de proceso y refinamiento del petróleo.

La Figura 11, presenta una vista panorámica de los

tanques de la unidad de SETRIA y evidencia sus dimensiones y capacidad de almacenamiento.

El diseño e instalación del sistema de protección catódica lo realizó una compañía extranjera, con la finalidad de contrarrestar el efecto altamente corrosivo del suelo y poner a buen recaudo esta unidad. Pues, estudios realizados en ese entonces, señalan una resistividad del terreno por el orden de los 250 ohm-cm, lo que da una idea de la importancia de proteger los tanques sobre todo las bases que son las que están en contacto directo con el terreno.

Por el necesario servicio que prestan los tanques, su mantenimiento es considerado como un factor importante, en vista de los altos costos que representaría para CEPE el quedar fuera de operación una de estas unidades.

El plan de mantenimiento incluye la protección de las partes aéreas de los tanques contra el medio ambiente sumamente agresivo (atmósfera industrial y salina); esta protección es en base a recubrimientos con pinturas anticorrosivas, así como también adicionando ciertos inhibidores a los produc-

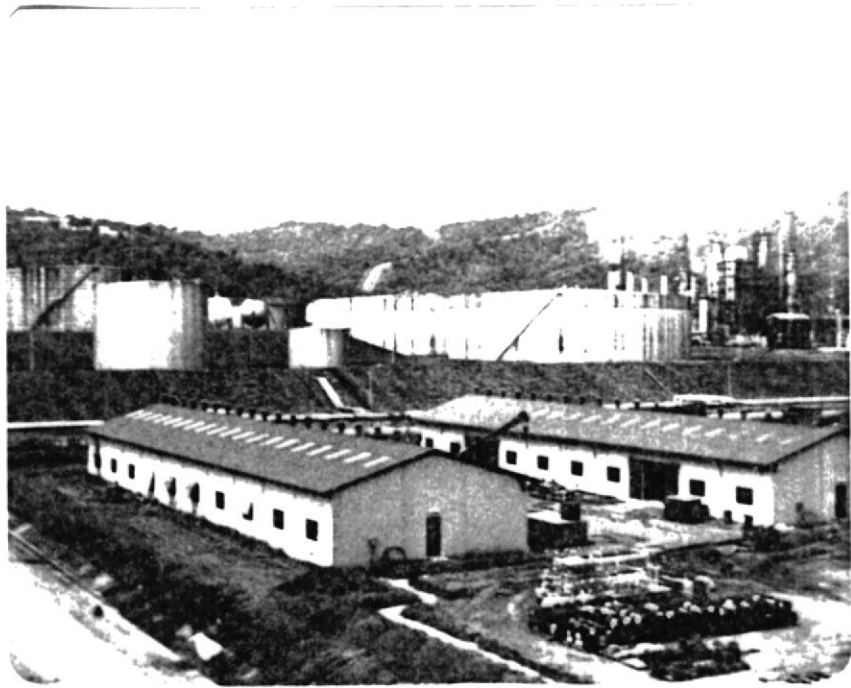


FIGURA 11.- VISTA PANORAMICA DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

tos derivados de petróleo que almacenan (interior del tanque).

Cabe mencionar que el mantenimiento que se da al sistema catódico consiste en realizar mediciones periódicas (cada año) del potencial estructura/suelo a fin de verificar en que condiciones se encuentra operando las camas anódicas cuyo material es de Magnesio.

En este capítulo se analizan los parámetros que

fueron considerados en el diseño e instalación del sistema original de protección: Medición de resistividad del suelo, potencial natural, potencial estructura/suelo. Se incluye un historial completo de la toma periódica de los potenciales estructura/suelo de cada tanque desde la fecha de conexión (1980) hasta la fecha presente (1986), por considerarse que mediante estos datos se verifica el grado de protección con que cuentan los tanques. Por último, todo lo analizado servirá para tener un amplio criterio del sistema original y proceder a evaluación y modificación que es el objetivo principal de esta investigación.

En la Figura 12, se observa la disposición geográfica (vista de planta) de la unidad de SETRIA, así como también se cree conveniente a manera de ilustración presentar la Tabla XI que muestra las características operacionales de los tanques en mención.

2.2 CONDICIONES DE DISEÑO ORIGINAL.-

En el diseño original se consideró una resistividad uniforme para todo el terreno que rodea la unidad de SETRIA, pese a que estos valores de resisti

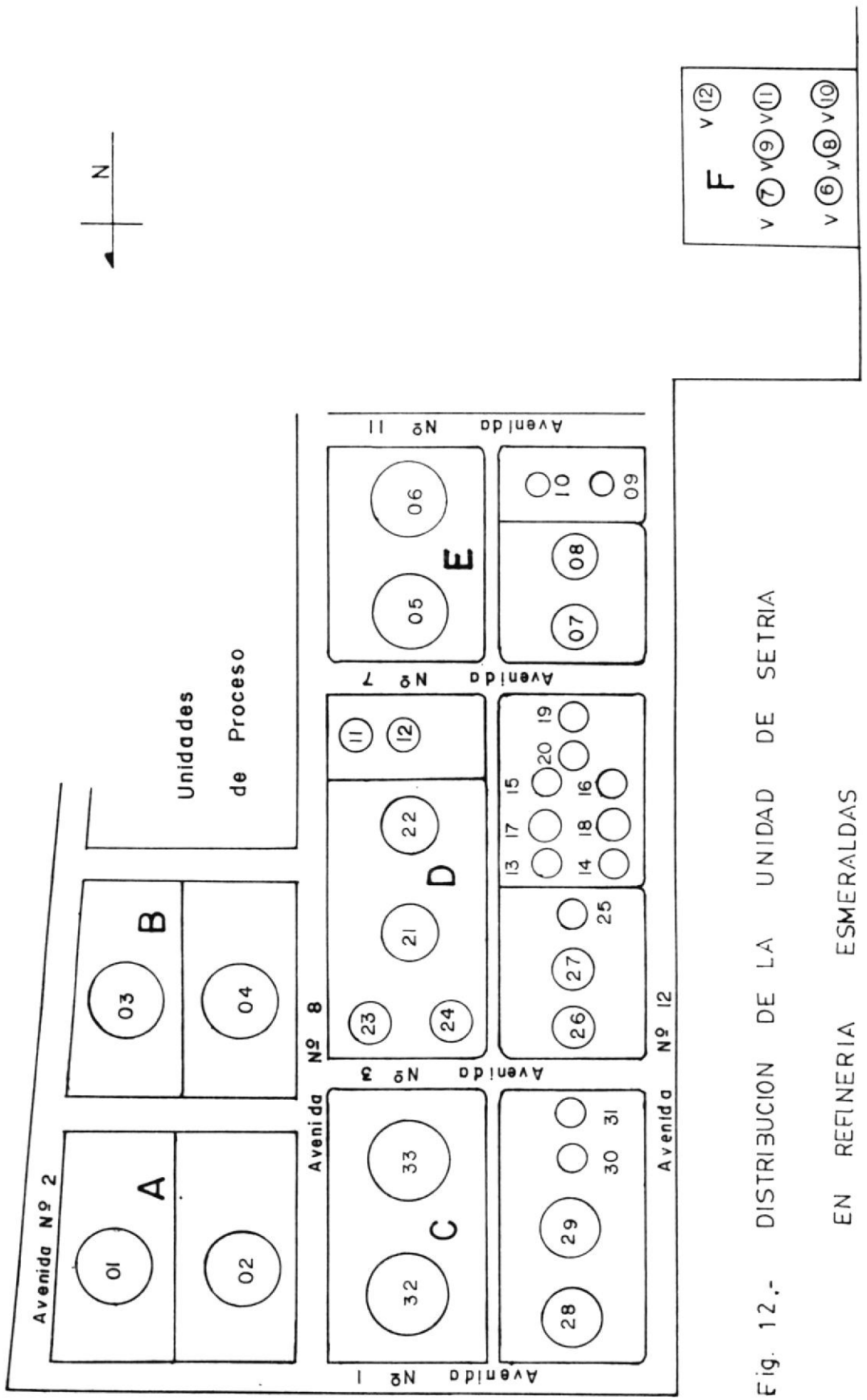


Fig. 12.- DISTRIBUCION DE LA UNIDAD DE SETRIA

EN REFINERIA ESMERALDAS

TABLA No. XI

CARACTERISTICAS DE OPERACION Y ALMACENAJE DE LOS TANQUES DE LA UNIDAD DE SETRIA EN REFINERIA ESMERALDAS

No. DE TANQUE	TEMP. (°C.)	CAPAC. (m ³ .)	AREA (m ² .)	PRODUCTO ALMACENADO
Y - T 8001	30	38534.33	2633.7	CRUDO
Y - T 8002	30	38534.33	2633.7	CRUDO
Y - T 8003	30	38534.33	2633.7	CRUDO
Y - T 8004	30	38534.33	2633.7	CRUDO
Y - T 8005	30	34575.97	2305.4	Carga a FCC
Y - T 8006	30	34575.97	2305.4	Carga a FCC
Y - T 8007	177	14116.54	964.5	Carga a Visbreaker pesado
Y - T 8008	177	14116.54	964.5	Carga a Visbreaker pesado
Y - T 8009	30	3831.18	962.6	Carga a Hidrobón
Y - T 8010	30	651.78	89.44	Carga a Platforming
Y - T 8011	75.5	1764.57	182.3	Slop liviano y pesado
Y - T 8012	75.5	1764.57	182.3	Slop liviano y pesado
Y - T 8013	30	1764.57	182.5	Nafta liviana
Y - T 8014	30	1764.57	182.5	Nafta liviana
Y - T 8015	30	1764.57	182.5	Gasolina Plataformada
Y - T 8016	30	1764.57	182.5	Gasolina Plataformada
Y - T 8017	30	2559.42	262.6	Nafta pesada
Y - T 8018	30	2559.42	262.6	Nafta pesada
Y - T 8019	30	6819.81	466.8	Gasolina tratada
Y - T 8020	30	6819.81	466.8	Gasolina tratada
Y - T 8021	30	34575.97	2362.9	Gasolina regular
Y - T 8022	30	34575.97	2362.9	Gasolina regular
Y - T 8023	30	14116.54	966.2	Gasolina Super

Continuación

T A B L A No. XI

No. DE TANQUE	TEMP. (^o C.)	CAPAC. (m ³ .)	AREA (m ² .)	PRODUCTO ALMACENADO
Y - T 8024	30	14116.54	966.2	Gasolina Super
Y - T 8025	30	8632.07	590.7	Fet Fuel
Y - T 8026	30	12924.26	882.7	Kerosene
Y - T 8027	30	12924.26	882.7	Kerosene
Y - T 8028	30	28932.54	1985.5	Diesel
Y - T 8029	30	28932.54	1985.5	Diesel
Y - T 8030	50	3831.18	262.6	Fuel Oil
Y - T 8031	50	3831.18	262.6	Fuel Oil
Y - T 8032	80	42699.34	2917.0	Fuel Oil
Y - T 8033	80	42699.34	2917.0	Fuel Oil
A0-V6	177	1128.69	116.9	Asfalto
A0-V7	177	1128.69	116.9	Asfalto
A0-V8	177	1128.69	116.9	Asfalto
A0-V9	177	1128.69	116.9	Asfalto
A0-V10	177	1128.69	116.9	Asfalto
A0-V11	148	1128.69	116.9	Asfalto
A0-V12	148	1128.69	116.9	Asfalto

vidad varían para cada tanque. Ahora bien, una vez conocido este valor (250 Ohm-cm); los técnicos especialistas de la compañía encargada del diseño, dimensionaron la densidad de corriente necesaria de protección considerando además la temperatura de operación de los tanques(14). Ver Tabla XII a continuación.

TABLA No. XII

CRITERIO ORIGINAL PARA LA OBTENCION DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE⁽¹⁴⁾

GRADO DE CORROSIVIDAD DEL TERRENO	DENSIDAD DE CORRIENTE (mA/m ²)	
	A temperatura temperatura	A diferentes temperatura *
Mínimo	4	-
Medio	7	15
Máximo	10	20

* TEMPERATURA DEL PRODUCTO TRANSMITIDA AL TANQUE

El material con que están construidas las bases de los tanques es: Acero al carbono , cuyo código ASTM es A283-Grado C, de 6.4 mm de espesor.

Los ánodos utilizados, tienen las siguientes características(14):

MATERIAL.-

Aleación de Magnesio, recubierto con funda de lienzo que contiene relleno. La Figura 13, ilustra un ánodo.

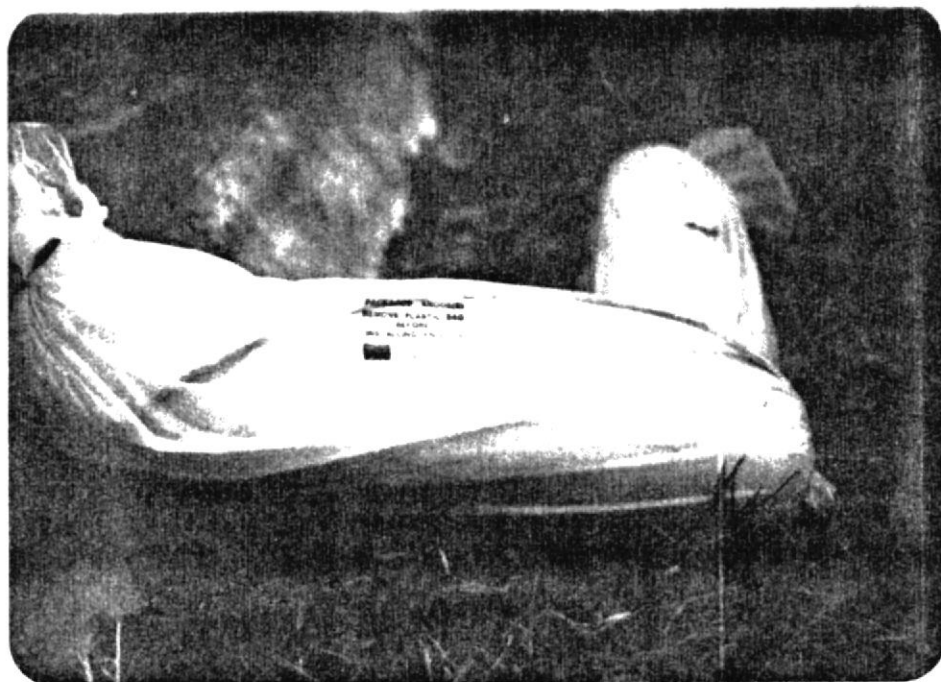


FIGURA 13.- ANODO DE MAGNESIO EMPLEADO EN LA PROTECCION CATODICA,

Dimensiones (nominal) : 200 mm de diámetro y 1000 mm de longitud.

Peso (nominal) : 34 Kg.

Capacidad de corriente : 356 AHr/Kg.

Corriente de salida : 0.40 A, para una resistividad
del terreno de 250 Ohm-cm.

Vida esperada : 3 años y posterior reemplazo

Mediante un ejemplo, se explica la técnica operativa de diseño; utilizando los datos del tanque Y-T 8028:

Sea:

$$S = 1985.5 \text{ m}^2$$

$$Dc = 10 \text{ mA/m}^2$$

$$i = 0.4 \times 10^3 \text{ mA}$$

Entonces:

$$n = S \cdot Dc / i = (1985.5) (10) / 0.4 \times 10^3$$

$$n = 50 \text{ ánodos}$$

A continuación se presenta la Tabla XIII, en la cual se da la memoria técnica del diseño del sistema galvánico original.

T A B L A No. XIII

MEMORIA TECNICA DEL DISEÑO ORIGINAL

No. TANQUE	Dc (mA/m ²)	I (mA)	No. ANODOS
Y - T 8001	4	10530	26
Y - T 8002	4	10530	26
Y - T 8003	4	10530	26
Y - T 8004	4	10530	26
Y - T 8005	20	46108	116
Y - T 8006	15	34581	86
Y - T 8007	20	19290	48
Y - T 8008	15	14468	36
Y - T 8009	10	2630	6
Y - T 8010	7	630	2
Y - T 8011	15	2730	7
Y - T 8012	15	2730	7
Y - T 8013	7	1280	3
Y - T 8014	7	1280	3
Y - T 8015	7	1280	3
Y - T 8016	7	1280	3
Y - T 8017	7	1840	5
Y - T 8018	7	1840	5
Y - T 8019	7	3270	8
Y - T 8020	10	4670	12
Y - T 8021	10	23630	59
Y - T 8022	4	9450	24
Y - T 8023	10	9660	24

Continuación..... TABLA No. XIII

No. TANQUE	Dc (mA/m ²)	I (mA)	No. ANODOS
Y - T 8024	10	9660	24
Y - T 8025	7	4130	10
Y - T 8026	7	6180	15
Y - T 8027	7	6180	15
Y - T 8028	10	19855	50*
Y - T 8029	4	7580	20
Y - T 8030	15	3940	10
Y - T 8031	15	3940	10
Y - T 8032	15	43760	109
Y - T 8033	15	43760	109
AO - V6	15	1750	5
AO - V7	15	1750	5
AO - V8	15	1750	5
AO - V9	15	1750	5
AO - V10	15	1750	5
AO - V11	15	1750	5
AO - V12	20	2630	6

2.3 PROBLEMAS Y FALLAS DETECTADAS.-

El deterioro que puede presentar un tanque ó durabilidad (vida útil) del mismo, está subordinado a una serie de factores que inciden directamente en la economía de la Refinería. Entre estos factores está la implementación de un adecuado sistema de protección catódica que se instale en los tanques, incluyendo sus respectivas consideraciones tanto en diseño, como operación y mantenimiento, que varían de acuerdo al sistema escogido. (En este caso por ánodos de Magnesio).

A través del Departamento de Inspección Técnica, que es el encargado del mantenimiento del sistema catódico en SETRIA, se han constatado fallas en este sistema en cuanto a diseño y consecuentemente de operación. Estas fallas se las presenta a continuación siguiendo la secuencia sugerida en la sección 1.3, con respecto a los pasos a seguir en el dimensionamiento de un sistema de protección catódica:

RESPECTO A LAS MEDICIONES DE CAMPO:

- Se consideró una resistividad eléctrica del sue-

lo media para todos los tanques de 250 Ohm-cm, siendo que el grado de corrosividad del terreno es variable para cada tanque (en el orden de los 150 a 500 Ohm-cm). Ver en la Tabla XVII las mediciones efectuadas de resistividad actuales.

- Partiendo de esta resistividad del suelo y temperatura de operación de los tanques, se calculó la densidad de corriente subdimensionando en algunos casos la protección requerida.
- No se realizó mediciones del PH del suelo alrededor de los tanques de la unidad de SETRIA. La no consideración de la medición del PH del terreno puede repercutir muy seriamente en el comportamiento del sistema catódico instalado, ya que no se tiene información sobre el grado de acides ó alcalinidad del terreno. Además se conoce que la velocidad de corrosión es función del PH del suelo(5), siendo mayor a medida que aumenta el grado de acides de éste.

RESPECTO A LA SELECCION DEL TIPO DE PROTECCION:

- Si se considera que para requerimientos de corriente

te de protección sobre los 5 Amperios es mejor utilizar corrientes impresas, se debió entonces hacer un estudio sobre la factibilidad de aplicar este método. Pues como se observa en la Tabla XIII, hay un 50% de los tanques que sobrepasan los 5 amperios, sin embargo se utilizan ánodos de sacrificio.

- Los ánodos utilizados tienen una capacidad de drenaje de corriente de 356 Ahr/Kg, el cual es muy inferior con respecto a los ánodos que comunmente se encuentran en el mercado y que se presentó en la Tabla I.
- La vida esperada por ánodo es de 3 años, siendo muy corta comparada con la durabilidad de los tanques que es de aproximadamente de 25 a 30 años.

2.4 RESULTADOS OBTENIDOS.-

Luego de puntualizar los problemas y fallas analizadas del sistema catódico original, se presenta en esta sección el comportamiento que ha tenido éste a partir de la fecha de conexión (1980), hasta la fecha de la elaboración de este trabajo de investigación (1986).

Este comportamiento se analiza observando el Historial de este sistema catódico en todos los tanques que conforman la unidad de SETRIA.

Cabe indicar que las conexiones de las camas anódicas a la estructura de los tanques, se realizaron - los 3 años de ser instalado el sistema catódico, en tendiéndose entonces que el fondo de los tanques es tuvo sometido a procesos corrosivos y los ánodos a algún desgaste prematuro.

El Historial en mención se presenta a continuación en la Tabla XIV.

Como se observa en la Tabla N^o XIV, el comportamiento que ha tenido el Sistema de Protección es diferen te para cada uno de los tanques que conforman la uni dad de SETRIA. Por lo que es necesario analizarlos por separados, como a continuación se presenta:

- En los tanques que almacenan asfaltos, el sistema catódico no llegó a los 3 años esperados de protec ción, es decir, operó hasta 1982, Siendo que **hasta** la fecha actual (1986) se encuentran estos tanques sin protección catódica.

TABLA XIV

HISTORIAL DE LA PROTECCION CATODICA ORIGINAL

TANQUE Y-T 8001					TANQUE Y-T 8002				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	7	7	6	6	Nº Anodos	7	7	6	6
4/7/80 Pot./nat (V)	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	9/7/70 Pot./nat (V)	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58
16/12/80 Pot. e/s (V)	-0.85	-0.92	-0.88	-0.85	16/12/80 Pot. e/s (V)	-0.82	-0.9	-0.9	-0.86
16/3/81 Pot. e/s (V)	-0.94	-0.92	-0.92	-0.94	16/3/81 Pot. e/s (V)	-0.96	-0.9	-0.97	-0.84
16/7/82 Pot. e/s (V)	-0.9	-0.92	-0.82	-0.9	5/6/82 Pot. e/s (V)	-0.9	-0.88	-0.84	-0.9
16/2/83 Pot. e/s (V)	-0.9	-0.86	-0.9	-0.85	12/7/83 Pot. e/s (V)	-0.9	-0.9	-0.92	-0.92
12/1/84 Pot. e/s (V)	-0.95	-1.04	-0.88	-0.86	20/4/84 Pot. e/s (V)	-1.00	-1.1	-0.9	-0.96
4/8/86 Pot. e/s (V)	-0.75	-0.70	-0.82	-0.75	4/8/86 Pot. e/s (V)	-0.75	-0.75	-0.72	-0.72

TANQUE Y-T 8003					TANQUE Y-T 8004				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	7	7	6	6	Nº Anodos	7	7	6	6
11/7/80 Pot./nat (V)	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58	12/7/80 Pot./nat (V)	-0.58	-0.58	-0.58	-0.58
16/12/80 Pot. e/s (V)	-1.00	-0.92	-0.95	-1.00	16/12/80 Pot. e/s (V)	-1.12	-0.92	-0.88	-0.87
16/6/81 Pot. e/s (V)	-1.10	-1.02	-0.89	-0.92	16/6/81 Pot. e/s (V)	-1.02	-0.94	-0.99	-0.86
5/6/82 Pot. e/s (V)	-1.08	-0.98	-0.84	-0.90	5/6/82 Pot. e/s (V)	-1.0	-0.98	-1.0	-1.0
12/12/83 Pot. e/s (V)	-1.08	-0.90	-0.84	-0.90	7/2/83 Pot. e/s (V)	-0.98	-0.90	-0.98	-0.92
20/4/84 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.90	-0.92	-0.96	12/1/84 Pot. e/s (V)	-0.92	-0.88	-0.95	-1.0
5/8/86 Pot. e/s (V)	-0.70	-0.70	-0.70	-0.80	5/8/86 Pot. e/s (V)	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80

Continuación ...

HISTORIAL DE LA PROTECCION CATODICA ORIGINAL

TANQUE Y-T 8005					TANQUE Y-T 8006				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	29	29	29	29	Nº Anodos	21	22	22	21
28/8/80 Pot./nat (V)	-0.62	-0.65	-0.65	-0.62	28/8/80 Pot./nat (V)	-0.72	-0.76	-0.76	-0.76
2/9/80 Pot. e/s (V)	-1.0	-1.02	-0.98	-1.02	2/9/80 Pot. e/s (V)	-0.98	-1.04	-1.0	-0.98
18/6/81 Pot. e/s (V)	-1.16	-1.1	-1.0	-1.14	18/6/81 Pot. e/s (V)	-1.08	-1.0	-1.08	-1.0
4/6/82 Pot. e/s (V)	-1.0	-1.	-1.05	-1.08	4/6/82 Pot. e/s (V)	-1.05	-1.05	-1.1	-1.02
15/4/83 Pot. e/s (V)	-1.02	-1.02	-1.08	-1.04	15/4/83 Pot. e/s (V)	-1.12	-1.08	-1.08	-1.06
10/1/84 Pot. e/s (V)	-1.10	-1.0	-1.1	-1.04	20/5/84 Pot. e/s (V)	-1.	-0.90	-1.12	-0.98
13/8/86 Pot. e/s (V)	-0.88	-0.80	-0.83	-0.88	13/8/86 Pot. e/s (V)	-0.86	-0.86	-0.87	-0.85

TANQUE Y-T 8007					TANQUE Y-T 8008				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	-	16	16	16	Nº Anodos	-	12	12	12
29/8/80 Pot./nat (V)	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	29/8/80 Pot./nat (V)	-0.78	-0.78	-0.78	-0.78
2/9/80 Pot. e/s (V)	-1.02	-0.9	-0.9	-0.92	2/9/81 Pot. e/s (V)	-0.88	-0.92	-0.92	-0.86
18/6/81 Pot. e/s (V)	-0.98	-0.96	-0.96	-0.98	18/6/81 Pot. e/s (V)	-0.9	-0.98	-0.9	-0.9
4/6/82 Pot. e/s (V)	-1.08	-0.98	-0.85	-0.88	4/6/82 Pot. e/s (V)	-0.82	-0.96	-1.	-0.85
15/4/83 Pot. e/s (V)	-1.1	-0.9	-0.82	-0.90	15/4/83 Pot. e/s (V)	-0.84	-0.90	-1.0	-0.94
23/4/84 Pot. e/s (V)	-0.8	-0.82	-0.90	-0.85	23/4/84 Pot. e/s (V)	-0.95	-0.82	-0.82	-0.90
13/8/86 Pot. e/s (V)	-0.62	-0.65	-0.65	-0.65	14/8/86 Pot. e/s (V)	-0.65	-0.72	-0.70	-0.68

Continuación

HISTORIAL DE LA PROTECCION CATODICA ORIGINAL

TANQUE Y-T 8009					TANQUE Y-T 8010				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	3	3	-	-	Nº Anodos	3	3	-	-
29/8/80 Pot./nat (V)	-76	-76	-76	-76	29/8/80 Pot./nat (V)	-76	-76	-76	-76
1/9/80 Pot. e/s (V)	-1.0	-1.0	-0.9	-0.86	1/9/80 Pot. e/s (V)	-0.9	-0.86	-0.86	-0.90
18/6/81 Pot. e/s (V)	-1.04	-1.0	-0.94	-0.98	18/6/81 Pot. e/s (V)	-0.98	-0.96	-0.98	-0.98
4/6/82 Pot. e/s (V)	-1.00	-0.9	-0.92	-0.90	3/6/82 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.88	-0.90	-0.88
15/4/83 Pot. e/s (V)	-1.10	-0.92	-0.98	-90	12/7/83 Pot. e/s (V)	-0.92	-0.92	-0.90	-0.90
15/5/84 Pot. e/s (V)	-0.80	-0.84	-90	-85	15/5/84 Pot. e/s (V)	-0.88	-0.85	-0.85	-0.85
14/8/86 Pot. e/s (V)	-0.65	-0.68	-0.68	-0.68	14/8/86 Pot. e/s (V)	-0.70	-0.70	-0.65	-0.65

TANQUE Y-T 8011					TANQUE Y-T 8012				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	-	-	3	4	Nº Anodos	-	-	3	4
29/8/80 Pot./nat (V)	-0.76	-0.76	-0.76	-0.76	29/8/80 Pot./nat (V)	-0.74	-0.74	-0.74	-0.74
2/9/80 Pot. e/s (V)	-0.82	-0.84	-0.82	-0.80	2/9/80 Pot. e/s (V)	-0.82	-0.85	-0.84	-89
22/6/81 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.94	-0.92	-0.98	22/6/81 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.98	-0.90	-1.02
13/2/82 Pot. e/s (V)	-0.85	-0.80	-0.80	-0.85	13/2/82 Pot. e/s (V)	-0.88	-0.82	-0.86	-90
20/8/83 Pot. e/s (V)	-0.85	-0.85	-0.85	-0.85	20/8/83 Pot. e/s (V)	-0.88	-0.80	-0.86	-90
20/4/84 Pot. e/s (V)	-0.85	-0.85	-0.85	-0.85	20/4/84 Pot. e/s (V)	-0.85	-0.80	-0.85	-0.85
7/8/86 Pot. e/s (V)	A	S	F	A L T A D O	7/8/86 Pot. e/s (V)	A	S	F	A L T A D O

Continuación

HISTORIAL DE LA PROTECCION CATODICA ORIGINAL

TANQUE Y-T 8013					TANQUE Y-T 8014				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	-	-	-	3	Nº Anodos	-	-	3	-
27/8/80 Pot./nat (V)	-0.70	-0.70	-0.70	-0.70	27/8/80 Pot./nat (V)	-0.70	-0.70	0.70	0.70
29/8/80 Pot. e/s (V)	-0.98	-.80	-.80	-.92	27/8/80 Pot. e/s (V)	-0.78	-0.78	-.79	-.78
12/6/81 Pot. e/s (V)	-1.06	-1.0	-1.	-1.06	18/6/81 Pot. e/s (V)	-.90	-.90	-.90	-.90
15/6/82 Pot. e/s (V)	-.90	-.90	-.90	-1.04	13/6/82 Pot. e/s (V)	-1.0	-.90	-.90	-.90
21/2/83 Pot. e/s (V)	-.90	-1.0	-.90	-1.0	2/2/83 Pot. e/s (V)	-.98	-.90	-.90	-.90
10/1/84 Pot. e/s (V)	-.92	-0.88	-.90	-.88	20/4/84 Pot. e/s (V)	-.90	-.88	-.80	-.86
8/8/86 Pot. e/s (V)	-.70	-.75	-.66	-.70	11/8/86 Pot. e/s (V)	-.70	-.65	-.68	-.69
TANQUE Y-T 8015					TANQUE Y-T 8016				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	-	-	3	-	Nº Anodos	-	3	-	-
27/8/80 Pot./nat (V)	-.65	-.65	-.65	-.65	27/8/80 Pot./nat (V)	-.66	-.66	-.66	-.66
29/8/80 Pot. e/s (V)	-.82	-.84	-.80	-.80	29/8/80 Pot. e/s (V)	-.78	-.78	-.76	-.78
18/6/81 Pot. e/s (V)	-.90	-.90	-.92	-.90	18/6/81 Pot. e/s (V)	-.92	-.96	-.90	-.92
13/6/82 Pot. e/s (V)	-.92	-.90	-.90	-.90	13/5/82 Pot. e/s (V)	-.90	-.90	-1.02	-.92
26/8/83 Pot. e/s (V)	-.90	-.90	-.90	-.90	21/2/83 Pot. e/s (V)	-.90	-.90	-1.0	-.90
23/5/84 Pot. e/s (V)	-.80	-.90	-.80	-.90	16/1/84 Pot. e/s (V)	-.86	-.86	-1.0	-.86
11/8/86 Pot. e/s (V)	-.65	-.68	-.66	-.68	11/8/86 Pot. e/s (V)	-.65	-.72	-.65	-.68

Continuación....

HISTORIAL DE LA PROTECCION CATODICA ORIGINAL

TANQUE Y-T 8017					TANQUE Y-T 8018				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	3	-	-	2	Nº Anodos	2	3	-	-
27/8/80 Pot./nat (V)	-.67	-.67	-.67	-.67	26/8/80 Pot./nat (V)	-0.66	-0.66	-0.66	-0.66
29/8/80 Pot. e/s (V)	-.81	-.80	-.80	-.78	29/8/80 Pot. e/s (V)	-.82	-.82	-.78	-.78
20/6/81 Pot. e/s (V)	-.96	-.86	-.92	-.82	18/6/81 Pot. e/s (V)	-1.04	-1.0	-1.14	-1.02
13/6/82 Pot. e/s (V)	-.92	-.90	-.90	-.85	13/6/82 Pot. e/s (V)	-.98	-.96	-1.02	-.96
21/2/83 Pot. e/s (V)	-.90	-.90	-.90	-.90	15/3/83 Pot. e/s (V)	-.90	-.92	-.92	-.90
23/5/84 Pot. e/s (V)	-.85	-.90	-.90	-.90	23/5/84 Pot. e/s (V)	-.88	-.90	-.88	-.85
11/8/86 Pot. e/s (V)	-.68	-.68	-.68	-.68	12/8/86 Pot. e/s (V)	-.65	-0.64	-.65	-.65

TANQUE Y-T 8019					TANQUE Y-T 8020				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	-	-	4	4	Nº Anodos	-	-	4	4
26/8/80 Pot./nat (V)	-.66	-.66	-.66	-.66	26/8/80 Pot./nat (V)	-0.66	-0.66	-0.66	-0.66
29/8/80 Pot. e/s (V)	-.82	-.84	-.83	-.88	29/8/80 Pot. e/s (V)	-.82	-.88	-.83	-.84
20/6/81 Pot. e/s (V)	-.92	-.90	-.96	-.90	20/6/81 Pot. e/s (V)	-.92	-.90	-.96	-.90
13/6/82 Pot. e/s (V)	-.90	-.92	-.90	-.92	13/6/82 Pot. e/s (V)	-.90	-.92	-.90	-.92
21/2/83 Pot. e/s (V)	-.90	-.90	-.90	-.90	21/2/83 Pot. e/s (V)	-.90	-.90	-.90	-.90
20/5/84 Pot. e/s (V)	-.90	-.94	-.92	-.94	20/5/84 Pot. e/s (V)	-.90	-.94	-.92	-.94
12/8/86 Pot. e/s (V)	-.70	-.70	-.68	-.68	12/8/86 Pot. e/s (V)	-.70	-.70	-.70	-.70

Bl. 1

Continuación

HISTORIAL DE LA PROTECCION CATODICA ORIGINAL

TANQUE Y-T 8021					TANQUE Y-T 8022				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	14	15	15	15	Nº Anodos	6	6	6	6
19/8/80 Pot./nat (V)	-.65	-.65	-.65	-.65	20/8/80 Pot./nat (V)	-.65	-.65	-.65	-.65
20/8/80 Pot. e/s (V)	-1.0	-.76	-.89	-1.0	20/8/80 Pot. e/s (V)	-.74	-.85	-.85	-.74
22/6/81 Pot. e/s (V)	-1.2	-1.10	-1.04	-1.24	22/6/81 Pot. e/s (V)	-.96	-1.06	-.94	-1.1
14/6/82 Pot. e/s (V)	-1.12	-1.0	-1.10	-1.20	14/6/82 Pot. e/s (V)	-.90	-.90	-1.10	-1.10
15/8/83 Pot. e/s (V)	-1.15	-1.10	-1.10	-1.15	15/4/83 Pot. e/s (V)	-.90	-.92	-1.0	-1.08
20/4/84 Pot. e/s (V)	-1.06	-.96	-.90	-1.0	23/5/84 Pot. e/s (V)	-.86	-.90	-.90	-.86
12/8/86 Pot. e/s (V)	-.70	-.70	-.65	-.65	12/8/86 Pot. e/s (V)	-.68	-.70	-.70	-.70

TANQUE Y-T 8023					TANQUE Y-T 8024				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	-	8	8	8	Nº Anodos	8	8	8	-
19/8/80 Pot./nat (V)	-.65	-.65	-.65	-.65	20/8/80 Pot./nat (V)	-.74	-.74	-.74	-
20/8/80 Pot. e/s (V)	-.85	-.90	-.83	-.88	20/8/80 Pot. e/s (V)	-.87	-.89	-.87	-.89
20/6/81 Pot. e/s (V)	-1.04	-1.06	-1.14	-1.02	22/6/81 Pot. e/s (V)	-1.14	-1.14	-1.1	-1.12
14/6/82 Pot. e/s (V)	-1.0	-1.1	-1.0	-1.10	14/6/82 Pot. e/s (V)	-1.04	-1.0	-1.1	-1.0
15/4/83 Pot. e/s (V)	-1.01	-1.02	-.98	-.98	15/4/83 Pot. e/s (V)	-1.0	-1.05	-.98	-1.0
20/4/84 Pot. e/s (V)	-1.06	-1.0	-.88	-1.0	20/4/84 Pot. e/s (V)	-1.0	-.90	-1.0	-1.0
12/8/86 Pot. e/s (V)	-.70	-.78	-.83	-.80	12/8/86 Pot. e/s (V)	-.65	-.65	-.62	-.62

Continuación

HISTORIAL DE LA PROTECCION CATODICA ORIGINAL

TANQUE Y-T 8025					TANQUE Y-T 8026				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	-	-	5	5	Nº Anodos	-	5	5	5
2/9/80 Pot./nat (V)	-	-	-0.70	-0.70	1/9/80 Pot./nat (V)	-	-0.80	-0.80	-0.80
2/9/80 Pot. e/s (V)	-0.73	-0.76	-0.76	-0.73	1/9/80 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.87	-0.90	-0.98
22/6/81 Pot. e/s (V)	-1.0	-1.02	-1.06	-1.04	22/6/81 Pot. e/s (V)	-1.04	-1.06	-1.08	-1.02
12/6/82 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.90	-0.90	-1.06	12/6/82 Pot. e/s (V)	-1.1	-1.0	-1.02	-1.0
15/4/83 Pot. e/s (V)	-0.98	-0.92	-0.92	-0.98	21/2/83 Pot. e/s (V)	-1.0	-0.98	-1.2	-0.98
20/4/84 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.92	-0.90	-0.96	20/4/84 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.96	-0.96	-0.90
12/8/86 Pot. e/s (V)	-0.70	-0.70	-0.72	-0.72	12/6/86 Pot. e/s (V)	-0.70	-0.70	-0.70	-0.70

TANQUE Y-T 8027					TANQUE Y-T 8028				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	-	5	5	5	Nº Anodos	13	13	12	12
21/8/80 Pot./nat (V)	-	-0.70	-0.70	-0.70	14/8/80 Pot./nat (V)	-0.63	-0.64	-0.62	-0.63
21/8/80 Pot. e/s (V)	-0.76	-0.74	-0.76	-0.76	20/8/80 Pot. e/s (V)	-1.0	-1.02	-0.92	-1.0
22/6/81 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.92	-0.92	-0.92	7/6/81 Pot. e/s (V)	-1.2	-1.0	-1.0	-1.0
2/2/82 Pot. e/s (V)	-1.02	-1.0	-1.0	-1.0	14/6/82 Pot. e/s (V)	-1.10	-1.1	-1.0	-1.12
15/4/83 Pot. e/s (V)	-1.0	-1.0	-1.0	-0.98	21/2/83 Pot. e/s (V)	-1.0	-1.1	-1.0	-1.10
20/4/84 Pot. e/s (V)	-0.96	-0.86	-0.90	-0.92	21/1/84 Pot. e/s (V)	-0.98	-0.98	-0.95	-1.02
13/8/86 Pot. e/s (V)	-0.72	-0.72	-0.72	-0.65	5/8/86 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.92	-0.85	-0.85

Continuación

HISTORIAL DE LA PROTECCION CATODICA ORIGINAL

TANQUE Y-T 8029					TANQUE Y-T 8030				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	5	5	5	5	Nº Anodos	5	5	-	-
14/4/80 Pot./nat (V)	-.64	-.64	-.64	-.64	18/8/80 Pot./nat (V)	-.66	-.66	-.66	-.66
20/8/80 Pot. e/s (V)	-.78	-.90	-.85	-.88	18/8/80 Pot. e/s (V)	-.68	-.68	-.68	-.70
7/6/81 Pot. e/s (V)	-1.0	-.98	-1.0	-1.0	18/6/81 Pot. e/s (V)	-1.0	-1.0	-.96	-.98
14/6/82 Pot. e/s (V)	-1.0	-.90	-1.0	-1.0	14/6/82 Pot. e/s (V)	-1.0	-1.0	-.90	-.90
2/2/83 Pot. e/s (V)	-1.0	-.80	-.90	-.90	21/2/83 Pot. e/s (V)	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
12/1/84 Pot. e/s (V)	-.85	-.82	-.85	-.85	12/1/84 Pot. e/s (V)	-.90	-.86	-.92	-.84
6/8/86 Pot. e/s (V)	-.80	-.78	-.75	-.75	6/8/86 Pot. e/s (V)	-.72	-.78	-.75	-.72

TANQUE Y-T 8031					TANQUE Y-T 8032				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	5	5	-	-	Nº Anodos	27	26	28	28
18/7/80 Pot./nat (V)	-.66	-.66			7/8/80 Pot./nat (V)	-0.60	-0.61	-.62	-.61
18/7/80 Pot. e/s (V)	-.78	-.85	-.80	-.85	7/8/80 Pot. e/s (V)	-0.66	-.66	-.90	-.80
17/6/81 Pot. e/s (V)	-.98	-1.0	-1.0	-.98	17/6/81 Pot. e/s (V)	-1.1	-1.0	-1.08	-1.12
14/6/82 Pot. e/s (V)	-.92	-.90	-.98	-.90	15/2/82 Pot. e/s (V)	-1.0	-1.1	-1.10	-1.10
21/2/83 Pot. e/s (V)	-.98	-1.0	-1.0	-.98	20/8/83 Pot. e/s (V)	-1.06	-1.1	-1.10	-1.10
12/1/84 Pot. e/s (V)	-.97	-.88	-.92	-.86	12/1/84 Pot. e/s (V)	-1.02	-.90	-.99	-1.05
6/8/86 Pot. e/s (V)	-.75	-.72	-.78	-.75	7/8/86 Pot. e/s (V)	-.90	-.90	-.90	-.90

Continuación.....

HISTORIAL DE LA PROTECCION CATODICA ORIGINAL

TANQUE Y-T 8033					TANQUE A0-V6				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	27	26	28	28	Nº Anodos	5	-	-	-
7/8/80 Pot./nat (V)	-0.60	-0.58	-0.58	-0.60	4/9/80 Pot./nat (V)	-0.70	-0.70	-0.70	-0.70
7/8/80 Pot. e/s (V)	-0.76	-0.70	-0.68	-0.70	4/9/80 Pot. e/s (V)	-0.77	-0.75	-0.75	-0.70
17/6/81 Pot. e/s (V)	-0.11	-1.02	-1.0	-1.02	23/6/81 Pot. e/s (V)	-0.94	-0.90	-0.90	-0.90
21/2/82 Pot. e/s (V)	-1.0	-0.98	-1.0	-1.0	13/6/82 Pot. e/s (V)	-0.85	-0.82	-0.85	-0.82
20/8/83 Pot. e/s (V)	-1.05	-1.0	-1.05	-1.0	15/4/83 Pot. e/s (V)	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80
10/4/84 Pot. e/s (V)	-0.96	-0.90	-1.0	-1.06	13/1/84 Pot. e/s (V)	-0.40	-0.42	-0.40	-0.40
7/8/86 Pot. e/s (V)	-0.82	-0.85	-0.83	-0.88	14/8/86 Pot. e/s (V)	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60

TANQUE A0 - V7					TANQUE A0 - V8				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	4	-	-	-	Nº Anodos	-	-	5	-
4/9/80 Pot./nat (V)	-0.68	-0.72	-0.72	-0.70	4/9/80 Pot./nat (V)	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72
4/9/80 Pot. e/s (V)	-0.72	-0.75	-0.75	-0.72	4/9/80 Pot. e/s (V)	-0.86	-0.77	-0.74	-0.75
23/6/81 Pot. e/s (V)	-0.94	-0.90	-0.90	-0.92	23/6/81 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.90	-0.92	-0.90
13/6/82 Pot. e/s (V)	-0.82	-0.82	-0.82	-0.80	13/6/82 Pot. e/s (V)	-0.82	-0.80	-0.82	-0.80
15/4/83 Pot. e/s (V)	-0.80	-0.78	-0.80	-0.78	15/4/83 Pot. e/s (V)	-0.80	-0.78	-0.80	-0.78
13/1/84 Pot. e/s (V)	-0.78	-0.82	-0.80	-0.78	13/1/84 Pot. e/s (V)	-0.42	-0.46	-0.46	-0.42
15/8/86 Pot. e/s (V)	-0.60	-0.62	-0.60	-0.60	15/8/86 Pot. e/s (V)	-0.60	-0.62	-0.60	-0.62

HISTORIAL DE LA PROTECCION CATODICA ORIGINAL

TANQUE A0 - V9					TANQUE A0 - V10				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	-	-	4	-	Nº Anodos	-	-	5	-
4/9/80 Pot./nat (V)	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	4/9/80 Pot./nat (V)	-0.76	-0.75	-0.72	-0.75
4/9/80 Pot. e/s (V)	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	4/9/80 Pot. e/s (V)	-0.78	-0.81	-0.77	-0.77
23/6/81 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.90	-0.94	-0.90	23/6/81 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
13/6/82 Pot. e/s (V)	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	13/6/82 Pot. e/s (V)	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80
15/4/83 Pot. e/s (V)	-0.80	-0.78	-0.80	-0.78	15/4/83 Pot. e/s (V)	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80
15/1/84 Pot. e/s (V)	-0.44	-0.40	-0.44	-0.40	13/1/84 Pot. e/s (V)	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40
15/8/86 Pot. e/s (V)	-0.62	-0.60	-0.62	-0.60	Pot. e/s (V)	Fuera de Servicio			

TANQUE A0 - V11					TANQUE A0 - V12				
	POSICION					POSICION			
	N	S	E	O		N	S	E	O
Nº Anodos	-	-	4	-	Nº Anodos	-	-	6	-
4/9/80 Pot./nat (V)	-0.76	-0.78	-0.75	-0.78	4/9/80 Pot./nat (V)	-0.76	-0.78	-0.76	-0.77
4/9/80 Pot. e/s (V)	-0.79	-0.78	-0.76	-0.80	4/9/80 Pot. e/s (V)	-0.78	-0.80	-0.78	-0.78
23/6/81 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	23/6/81 Pot. e/s (V)	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
13/6/82 Pot. e/s (V)	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	13/6/82 Pot. e/s (V)	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80
15/4/83 Pot. e/s (V)	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	15/4/83 Pot. e/s (V)	-0.82	-0.80	-0.80	-0.80
13/1/84 Pot. e/s (V)	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	13/1/84 Pot. e/s (V)	-0.78	-0.74	-0.78	-0.76
15/8/86 Pot. e/s (V)	-0.62	-0.60	-0.62	-0.60	15/8/86 Pot. e/s (V)	-0.62	-0.60	-0.60	-0.60

- Las mediciones de potencial en los tanques Y-T 8011 y Y-8012 se dejaron de tomar desde el año 1984, pues el terreno se rellenó con asfalto con el fin de aumentar la resistividad del terreno y de esta manera prescindir de la protección catódica.
- Las mediciones actuales del potencial estructura/suelo, indican que un 90% del sistema catódico en la unidad de SETRIA está fuera de servicio, es decir sobre el potencial de protección que es de -0.85V.
- El sistema sigue operando solamente en los siguientes tanques: Y-T 8005, Y-T 8006, Y-T 8028, Y-T 8032 y Y-T 8033.

El estudio realizado en este capítulo del sistema catódico refleja que los parámetros de diseño dados originalmente, fueron considerados en forma general y no de una manera particular para cada tanque.

Por lo tanto, se propone para el siguiente capítulo hacer el estudio respectivo de la modificación de este sistema, tratando en lo posible de considerar lo anteriormente dicho (particularizar el procedimiento de diseño para cada tanque).

CAPITULO III

DISEÑO ACTUAL DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA REFINERIA ESTATAL ESMERALDAS

En este capítulo, se procede a la modificación del sistema catódico original previo a la evaluación que se basa en los resultados obtenidos de las fallas detectadas y que fueron enfocados en el capítulo anterior.

La metodología a emplear es realizar las mediciones de campo, tales como resistividad eléctrica del terreno, PH del terreno y potenciales estructura/suelo, pruebas que se las hace en cada tanque a fin de cuantificar el grado de corrosividad a que están sometidos.

Ya efectuadas estas mediciones el paso a seguir es el diseño del sistema modificado y, consistirá en calcular la corriente necesaria que habrá de suministrarse a cada tanque, así como también determinar el número de ánodos y realizar las verificaciones de que los circuitos instalados cumplan a satisfacción los requerimientos de corriente determinados (análisis de resistencias eléctricas).

Hay que indicar que de los 40 tanques que conforman la unidad de SETRIA de Refinería, sólo el 10% todavía están protegidos con el sistema catódico original. Es decir, no es necesaria la modificación en estos tanques, siendo recomendable que el sistema se desgaste completamente y proceder al recambio de materiales bajo las mismas consideraciones de diseño. Estos tanques en mención son los siguientes: Y-T 8005, Y-T 8006, Y-T 8028, Y-T 8032, Y-T 8033, Y-T 8911 y Y-T 8912.

3.1 MEDICIONES DE CAMPO.-

Previo al procedimiento de diseño, se realizan las mediciones de campo, cuyos métodos a emplear ya fueron analizados para tal efecto, fueron facilitados en Refinería a través del Departamento de Inspección Técnica.

3.1.1 Potencial natural de los tanques.-

Se incluye en esta sección el potencial natural de los tanques como dato de referencia. Esta medición se realizó en el año de 1980, y los resultados están dados en el Historial de Protección Catódica de la sección II.4.

Los valores teóricos del potencial natural medidos con el electrodo de referencia de Cu/Cu S04 para el acero está entre -0.46 y -0.54 V.(2).

3.1.2 Potencial estructura/suelo.-

El objetivo de realizar esta medición es verificar si el potencial medido entre la estructura del tanque y el suelo, está en el rango del potencial -0.85 V.

EQUIPO UTILIZADO :

- Voltímetro MC Miller Modelo A1 de alta resistencia interna (50000 Ohm/V).
- Electrodo de referencia de Cu/CuS04
- Cable de conexión entre el voltímetro y el tanque.

TECNICA OPERATIVA.

- Se preparó la solución de CuS04 con agua

destilada en el electrodo.

- Se conectó el electrodo al polo positivo del voltímetro y el polo negativo a la estructura del tanque por medio del cable.
- El circuito se cierra cuando el extremo inferior del electrodo se pone en contacto con el suelo.
- Se tomó lecturas en cuatro puntos para cada tanque de la unidad de SETRIA. Ver la Figura 14.

Los resultados de esta medición están dados en la Tabla XV, la cual se presenta a continuación.

3.1.3 Resistividad eléctrica del suelo.-

El objetivo de esta medición es cuantificar el grado de corrosividad del suelo en la unidad de SETRIA, de tal manera que se logre dimensionar la Densidad de corriente requerida de protección.

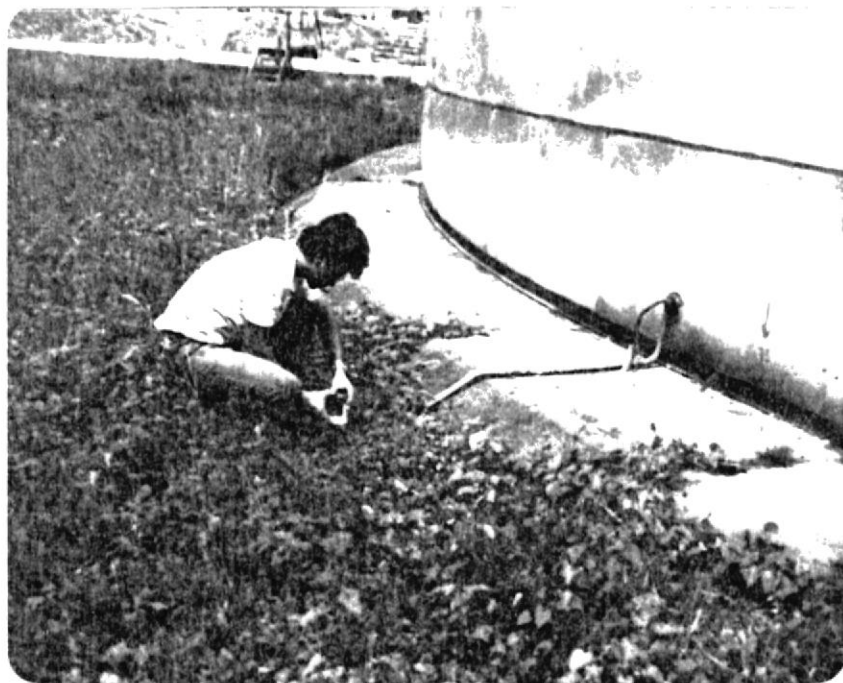


FIGURA 14.- MEDICION DEL POTENCIAL ESTRUCTURA/SUELO

EQUIPO UTILIZADO:

- Voltímetro-Amperímetro MC Miller Modelo B3-A1.
- Electrodo de bronce cuyas dimensiones son: Diámetro = 15 mm y longitud = 290mm.
- Batería de 6 voltios
- Cable de conexión N° 14 AWG

T A B L A No. X V

MEDICION DEL POTENCIAL ESTRUCTURA/SUELO (V)

(Fecha de las pruebas: Agosto de 1986)

No. TANQUE	P O S I C I O N			
	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
Y - T 8001	0.75	0.70	0.82	0.75
Y - T 8002	0.75	0.75	0.72	0.72
Y - T 8003	0.70	0.70	0.70	0.80
Y - T 8004	0.80	0.80	0.80	0.80
Y - T 8005	0.88	0.80	0.83	0.88
Y - T 8006	0.86	0.86	0.87	0.85
Y - T 8007	0.62	0.65	0.65	0.65
Y - T 8008	0.65	0.72	0.70	0.68
Y - T 8009	0.65	0.68	0.68	0.68
Y - T 8010	0.70	0.70	0.65	0.65
Y - T 8011	*	*	*	*
Y - T 8012	*	*	*	*
Y - T 8013	0.70	0.75	0.66	0.70
Y - T 8014	0.70	0.65	0.68	0.69
Y - T 8015	0.65	0.68	0.66	0.68
Y - T 8016	0.65	0.72	0.65	0.68
Y - T 8017	0.68	0.68	0.68	0.68
Y - T 8018	0.65	0.64	0.65	0.65
Y - T 8019	0.70	0.70	0.68	0.68
Y - T 8020	0.70	0.70	0.70	0.70
Y - T 8021	0.70	0.70	0.65	0.65
Y - T 8022	0.68	0.70	0.70	0.70

(Continuación...) TABLA No. XV

No. TANQUE	P O S I C I O N			
	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
Y - T 8023	0.70	0.78	0.83	0.80
Y - T 8024	0.65	0.65	0.62	0.62
Y - T 8025	0.70	0.70	0.72	0.72
Y - T 8026	0.70	0.70	0.70	0.70
Y - T 8027	0.72	0.72	0.72	0.65
Y - T 8028	0.90	0.92	0.85	0.85
Y - T 8029	0.80	0.78	0.75	0.75
Y - T 8030	0.72	0.78	0.75	0.72
Y - T 8031	0.75	0.72	0.78	0.75
Y - T 8032	0.90	0.90	0.90	0.90
Y - T 8033	0.82	0.85	0.83	0.88
A0 - V6	0.60	0.60	0.60	0.60
A0 - V7	0.60	0.62	0.60	0.60
A0 - V8	0.60	0.62	0.60	0.62
A0 - V9	0.62	0.60	0.62	0.60
A0 - V10	-	-	-	-
A0 - V11	0.62	0.60	0.62	0.60
A0 - V12	0.62	0.60	0.60	0.60

* Terreno asfaltado

- Desconectado el sistema.

TECNICA OPERATIVA:

- El método de medición es el de Wenner, indicado en la sección 1.4.3.
- La prueba se realizó en cuatro puntos diferentes para cada tanque.
- Se enterró en línea los 4 electrodos a un espaciamiento de 0.79 m entre sí, debido a que es la profundidad media a la que se instalan las camas anódicas.
- Antes de conectar eléctricamente los electrodos extremos, se conectá los electrodos centrales con cable 14 AWC al voltímetro del equipo con la finalidad de determinar el potencial estático existente.
- Ya conectados los electrodos extremos con la batería y en serie con el amperímetro, se tomó lecturas de la corriente suministrada.
- Se varió el reostato del equipo en cada

prueba a fin de obtener un promedio de las lecturas, tanto de corriente como de potencial.

- Ya tabulados estos valores, se multiplica la razón del potencial con respecto a la corriente, por el factor correspondiente al espaciamiento de 0.79 m y que en este caso es 500, valor que es obtenido de la Tabla IV.
- Los valores calculados de resistividad, así obtenidos se promedian para el número de pruebas realizadas.

En la Tabla XVI, se ilustra la secuencia planteada de medición de la resistividad del suelo en un tanque y reúne todas las lecturas tomadas según el procedimiento descrito en la sección 1.4.3.

De la Tabla XVI se puede representar un diagrama del perfil de resistividades con respecto al perímetro del tanque y de esta manera observar los lugares más propensos a procesos corrosivos. Ver la Figura 15.

TABLA Nº XVI
MEDICION DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN SETRIA

METODO : WENNER

TANQUE Nº : A0 - V6

EQUIPO : M.C. MILLER (B3-A1)

FECHA : 9/10/86

POSICION	V1 (mV)	I (mA)	V2 (mV)	$\Delta V = V2 - V1$ (mV)	Resistividad $500 \Delta V / I$ (ohm-cm)	Resistividad Media (ohm-cm)
Norte	17	75	44	27	180	177.1
		60	39	22	183.3	
		50	34	17	170	
		40	31	14	175	
Sur	20	60	62	42	350	381.1
		50	57	37	370	
		40	51	31	387.5	
		30	45	25	416.7	
Este	12	5.7	14.3	2.3	201.8	196.7
		5.0	14.1	2.1	210	
		4.5	13.8	1.8	200	
		4.0	13.4	1.4	175	
Oeste	40	9	42.8	2.8	155.6	108.3
		8	42	2.0	125	
		7	41.2	1.2	85.7	
		6	40.8	0.8	66.7	

Resistividad media del tanque = 215.8 ohm-cm

Observaciones: Terreno seco, día soleado.

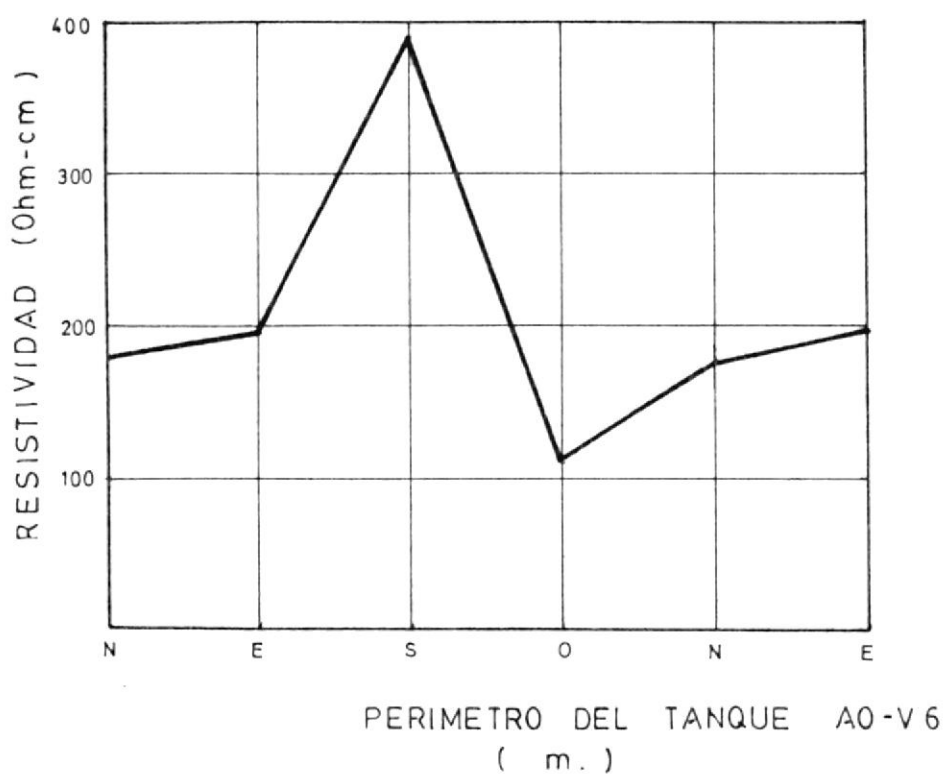


FIGURA 15.- PERFIL DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN EL TANQUE AO-V6.

Los resultados de esta prueba en todos los tanques de la unidad SETRIA se presentan en la Tabla XVII. La Figura 16 ilustra la medición.

3.1.4 PH del suelo.-

El objetivo de esta prueba es conocer el grado de acidéz o alcalinidad que tiene el terreno en la unidad de SETRIA.

T A B L A No. XVII

RESULTADOS GENERALES DE LA MEDICION DE RESISTIVIDAD

No.	TANQUE	RESISTIVIDAD media (Ohm-cm)	No.	TANQUE	RESISTIVIDAD media (Ohm-cm)
Y-T	8001	313.0	Y-T	8026	217.2
Y-T	8002	304.6	Y-T	8027	374.9
Y-T	8003	269.5	Y-T	8028	210.4
Y-T	8004	247.7	Y-T	8029	181.1
Y-T	8005	213.4	Y-T	8030	144.4
Y-T	8006	281.3	Y-T	8031	179.8
Y-T	8007	231.2	Y-T	8032	339.9
Y-T	8008	225.4	Y-T	8033	287.3
Y-T	8009	430.6	A0	-V6	215.8
Y-T	8010	360.6	A0	-V7	280.6
Y-T	8013	495.0	A0	-V8	*
Y-T	8014	491.0	A0	-V9	*
Y-T	8015	408.2	A0	-V10	290.6
Y-T	8016	380.1	A0	-V11	*
Y-T	8017	392.5	A0	-V12	*
Y-T	8018	378.7			
Y-T	8019	388.7			
Y-T	8020	358.4			
Y-T	8021	157.4			
Y-T	8022	267.0			
Y-T	8023	238.4			
Y-T	8024	170.4			
Y-T	8025	390.0			

* Producto regado alrededor de los tanques.



FIGURA 16.- MEDICION DE LA RESISTIVIDAD ELECTRICA DEL TERRENO ALREDEDOR DE LOS TANQUES.

EQUIPO UTILIZADO:

- Para la ejecución de esta prueba se empleó un equipo que cuenta el Laboratorio de Análisis de Aguas de la Refinería, marca Beckman Expandomatic modelo SS-2.

TECNICA OPERANTE:

- El procedimiento consiste en sacar las

muestras del terreno a determinar su PH, preferentemente a una profundidad de 0.30 m o más de la superficie.

- Paso a seguir, ya en el laboratorio se vierte esta muestra de tierra en un recipiente con agua destilada (PH = 7). Luego de haber realizado la mezcla respectiva tal, que se disuelvan los compuestos sólidos del terreno en el agua destilada, se procede a conectar esta solución a los electrodos del Peachímetro Beckamn, no sin antes haber verificado que esté calibrado en PH = 7. La lectura es directa y confiable. Observar el procedimiento en la Figura 17. Los resultados están indicados en la Tabla XVIII.

RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE CAMPO.-

Potencial estructura/suelo:

- Las estructuras de acero en general, expuestas a suelos, aguas dulce y de mar, son protegidas si son polarizadas a un potencial de -0.85 V con respecto al electrodo

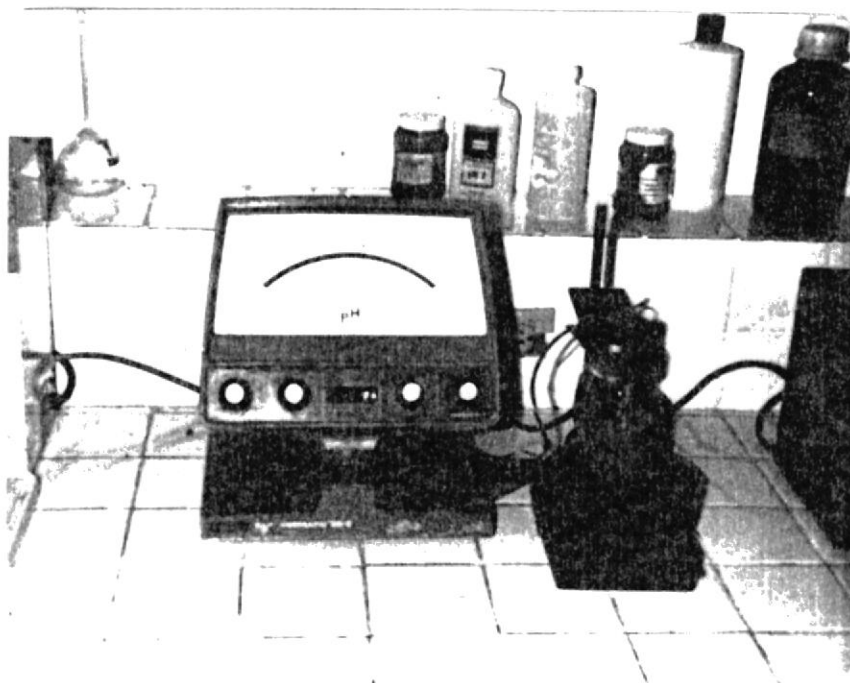


FIGURA 17.- PEACHIMETRO BECKMAN EXPANDOMACTIC PARA MEDIR PH DEL TERRENO.

de referencia de Cu/CuSO_4 . Según este criterio de protección y analizando la Tabla XIV se observa que los tanques Y-T 8005, Y-T 8006, Y-T 8028, Y-T 8031 y Y-T 8032, son los únicos que están protegidos.

- La medición en los tanques Y-T 8011 y Y-T 8012 no se pudo realizar debido a que el suelo está totalmente recubierto con asfalto, consecuentemente en estos tanques se prescinde de la protección catódica.

TABLA No. XVIII

MEDICION DEL PH DEL TERRENO

(Fecha de las pruebas: Octubre de 1986)

No. TANQUE	PH medio	No. TANQUE	PH medio
Y-T 8001	9.0	Y-T 8022	9.3
Y-T 8002	8.9	Y-T 8023	8.8
Y-T 8003	8.9	Y-T 8024	8.9
Y-T 8004	9.1	Y-T 8025	8.7
Y-T 8005	9.5	Y-T 8026	8.5
Y-T 8006	9.4	Y-T 8027	8.6
Y-T 8007	9.4	Y-T 8028	8.0
Y-T 8008	9.1	Y-T 8029	7.8
Y-T 8009	9.3	Y-T 8030	7.6
Y-T 8010	9.1	Y-T 8031	7.7
Y-T 8013	8.7	Y-T 8032	9.0
Y-T 8014	8.8	Y-T 8033	9.0
Y-T 8015	8.5	A0 - V6	7.4
Y-T 8016	8.4	A0 - V7	7.5
Y-T 8017	8.3	A0 - V8	7.2
Y-T 8018	8.4	A0 - V9	7.4
Y-T 8019	8.2	A0 - V10	8.5
Y-T 8020	8.2	A0 - V11	8.3
Y-T 8021	9.3	A0 - V12	7.9

- Los tanques que almacenan asfaltos son los que están más afectados, pues en el Historial de la protección catódica dado en la Tabla XIV se observa los potenciales de protección desde 1982.

Resistividad eléctrica del suelo:

- La medición de resistividad del suelo no se pudo realizar en los tanques A0-V9, A0-V11 y A0-V12, que almacenan asfaltos, pues existe dificultades de acceso.
- Los valores obtenidos están en un rango de 150 a 500 Ohm-cm, lo que indica condiciones muy severas del suelo.

PH del suelo:

- Como se puede apreciar en la Tabla XVIII, el PH del terreno alrededor de los tanques está en un rango de PH = 8 y PH = 9. Lo que cae dentro de los rangos aceptables de alcalinidad del terreno comparado con un terreno cuya orientación del Ph sea ácida. Tal aseveración se la comprueba obser

vando la Figura 5, en la cual el máximo desgaste del acero es justamente cuando el PH está en los altos valores de acidéz. Otro medio de verificar el efecto del PH obtenido es observando el Diagrama de Pourbaix (Figura 6); pues para potenciales de protección, la estructura de los tanques no se verá afectada por ningún ataque corrosivo externo producto de la alcalinidad que presenta el terreno.

- En definitiva, los resultados que se obtuvo en esta prueba, dan confiabilidad que no existen ácidos disueltos en el terreno de la unidad de SETRIA.

3.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PARA MODIFICACION.-

Ya recogida la información necesaria sobre las fases preliminares del diseño, se procede al diseño propiamente dicho. Se pretende mejorar las condiciones de protección, aplicando densidades de corriente más ajustadas a la realidad y consecuentemente seleccionar el tipo de ánodo recomendable. Incluyendo además, la verificación eléctrica de que el circuito conformado, satisfaga las condiciones de diseño previsto.

Para realizar el cálculo de las variables que intervienen en el diseño del sistema a modificar (sección 1.5) y con la finalidad de llevar una secuencia uniforme del mismo, se considera conveniente presentar a continuación un modelo del diseño para los tanques de la unidad de SETRIA en Refinería Esmeraldas:

1. Datos del tanque y del suelo:

- Area de la base en contacto con el suelo
- Temperatura de operación del tanque
- Resistividad eléctrica del suelo
- Densidad de corriente a aplicar



2. Puntos de drenaje de corriente desde la estructura del tanque.

3. Cálculo de la corriente teórica de protección, según la ec. 2.

$$I_t = S.Dc. F(1-E)$$

Pero:

$F = 1$; no existe movimiento relativo entre el terreno y la estructura.

$E = 0$; el fondo de los tanques no tiene recubrimiento.

Por lo tanto:

$$I_t = S \cdot D_c \quad (11)$$

4. Selección del tipo de ánodo a emplear:

Debido a que el sistema operante está adaptado al uso de ánodos de sacrificio, se trata de seleccionar un ánodo que tenga mejores características que el tipo de ánodo empleado originalmente. Sin embargo, queda por analizar en las recomendaciones si es o no factible la utilización de sistema catódico por corrientes impresas, ya que como se mencionó en la sección 1.3.3 es recomendable si la corriente de protección sobrepasa los 5 amperios.

5. Determinación del número de ánodos, ec. 4:

$$n = I_t / i$$

6. Cálculo de la vida esperada por cama anódica, según ec. 5:

$$t = p.Fu.C/8760.i.Vc$$

7. Cálculo de la resistencias eléctricas :

- Resistencia teórica del circuito, ec. 7:

$$R = (E_0 - E_e/s)/It$$

- Resistencia en cama de ánodos y cables, ec. 8:

$$R' = R_a + R_{ca}$$

Donde:

R_a = Resistencia en cama de ánodos, ec. 10

R_{ca} = Resistencia en cables eléctricos, Tabla X.

- Verificación del circuito, ec. 6:

$$R \geq R'$$

3.2.1 Diseño.-

El tanque escogido para tal efecto es el A0-V6, que almacena asfalto y es uno de los tanques en que el sistema catódico original falló prematuramente.

En base al procedimiento de diseño planteado en la sección 3.2, se procede a la modificación de la protección catódica como se indica a continuación:

TANQUE A0-V6

1. Datos del tanque:

$$S = 116.9 \text{ m}^2$$

$$T = 150^\circ\text{C}$$

$$\rho = 215.8 \text{ Ohm-cm}$$

$$D_c = 25 \text{ mA/m}^2$$

Criterio obtenido según los valores sugeridos en la sección 1.5.1. Incluye la respectivas consideraciones de resistividad y temperatura con un aumento en un 25% con

respecto al valor dado en el diseño original.

2. Se utilizarán dos puntos de drenaje de corriente desde la estructura del tanque.
3. Corriente teórica de protección, ec. 11:

$$I_t = S \cdot D_c$$

$$I_t = 116.9 \text{ m}^2 (25 \text{ mA} \cdot \text{m}^2)$$

$$I_t = 2.92 \text{ A}$$

4. Selección del tipo de ánodo a emplear:

La selección del ánodo, obedece a un análisis técnico-económico. De un modo general, depende de las fluctuaciones del mercado, pues varía mucho en dimensiones y peso de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

Por lo tanto, según lo manifestado en la sección 1.3.1 sobre las características que debe tener un buen ánodo (potencial

de ánodo abierto, capacidad de corriente, eficiencia del ánodo), se considera conveniente la utilización de ánodo de Magnesio con respecto a los ánodos de Zinc y Aluminio, por las siguientes razones:

- El ánodo de Aluminio, aunque posee mejores propiedades electroquímicas (Tabla I), su uso es recomendado solo para la protección de estructuras sumergida en contacto con agua del mar⁽²⁾.
- El ánodo de Magnesio con respecto al de Zinc tiene mayor capacidad de corriente por Kg de masa consumida, lo cual resulta ventajoso, ya que los requerimientos de corriente en los tanques son elevados. Ver Tabla XIII⁽²⁾.
- Aunque el ánodo de Zinc es usado para lugares de baja resistividad (1000 Ohm-cm), por su bajo potencial (-1.1 V), no es recomendable aplicarlo en este proyecto por que drena muy poca corriente.
- La desventaja de la utilización del ánodo

de Magnesio es que su costo es mayor que el ánodo de Zinc. Situación a la que hay que someterse, ya que la utilización de ánodos de Zinc sería riesgosa.

Ya analizadas las ventajas de la utilización de los ánodos de Magnesio, se seleccionará el tipo de ánodo apropiado considerando las mismas características dimensionales y de peso que tienen los ánodos originales, excepto la capacidad de corriente que será dada de acuerdo a la Tabla I. Se toma las mismas características del tipo original con la finalidad de comparar con el sugerido y conocer en que número se reduce la cantidad de ánodos a emplear. Estas características son:

L = 1000 mm
d = 200 mm
p = 34 Kg
C = 1230 Ahr/Kg (según Tabla I)
i = 0.95 A
t = 5 años
Eo = -1.75 V

5. Número de ánodos:

$$n = It/i$$

$$n = 2.92A./0.95A$$

$$n = 4 \text{ ánodos}$$

Ahora bien, dado los altos costos de los ánodos Magnesio (alrededor de 71.500 sucres cada uno) y debido a que Refinería Esmeraldas cuenta en su almacén de materiales y repuestos con mil unidades, productos de la primera adquisición; es conveniente presentar el diseño catódico utilizando estos mismos ánodos del sistema original y por supuesto sus características de fábrica. Las cuales son:

$$L = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 200 \text{ mm}$$

$$p = 34 \text{ Kg}$$

$$Fu = 0.85$$

$$C = 356 \text{ AHr/Kg}$$

$$i = 0.40 \text{ A.}$$

$$Eo = -1.75 \text{ V.}$$

Entonces el número de ánodos empleando los ánodos originales será:

$$n = It/i$$

$$n = 2,92 \text{ A}/0.4 \text{ A}$$

$$n = 8 \text{ ánodos}$$

Estos 8 ánodos en total serán repartidos en dos camas de a 4 ánodos cada una.

Obsérvese que con los ánodos sugeridos anteriormente, el número de ánodos a emplearse reduce al 50%, lo que daría consecuentemente varias ventajas tanto económicas como de disponibilidad para la instalación. Pero debido al limitante económico ya mencionado, se deja esta alternativa para una futura instalación y se procede al diseño con el mismo ánodo del sistema original.

6. Vida esperada:

Ya obtenido el número de ánodos, se procede a estimar la vida esperada de las camas anódicas, que en este caso es de $n = 4$.

$$t = p.Fu.C/8760.i.Vc$$

Para $n = 4$ y $s = 3$ (espaciamiento entre ánodos), se obtiene el valor de la variación de la corriente drenada por ánodo cuando se lo agrupa en camas. Entonces de acuerdo a la Figura 10, este valor es: $V_c = 0.68$.

Por lo tanto:

$$t = \frac{34\text{Kg} (0.85) (356 \text{ Ahr/Kg})}{8760 (0.4 \text{ A}) (0.68)}$$

$$t = 4.3 \text{ años}$$

7. Resistencias eléctricas

- Resistencia teórica

$$R = (E_o - E_e/s)/I_t$$

Para una cama, la corriente se divide para los dos puntos de drenaje, entonces:

$$I_t = 2.92/2$$

$$I_t = 1.46 \text{ A}$$

Siendo el potencial estructura/suelo de -0.85 V, la resistencia resulta:

$$R = (1.750 - 0.85) \text{ V} / 1.46 \text{ A}$$

$$R = 0.616 \text{ Ohm.}$$

- Resistencia en cama de ánodos y cables

$$R' = R_a + R_{ca}$$

Para cama de ánodos:

$$R_a = R_v/n + \rho \cdot P/s$$

$$R_v = \rho \cdot K/L$$

$K = 0.4267$, dado que $L/d = 5$; Tabla VIII

$$R_v = 215.8 \text{ Ohm-cm} (0.4267)/100 \text{ cm}$$

$$R_v = 0.921 \text{ Ohm}$$

Además:

$P = 0.0863$, ya que $n = 4$; Tabla IX

Entonces:

$$R_a = \frac{0.921 \text{ Ohm}}{4} + \frac{215.8 \text{ Ohm-cm} (0.0863)}{300 \text{ cm}}$$

$$R_a = 0.292 \text{ Ohm}$$

Cantidad de cables eléctricos a emplear por cama de ánodos.

- Cables 2 AWG : Distancia entre estructura a la cama son 3m.
- Cable 6 AWG : Distancia entre ánodos son 3 m por 4 ánodos resulta 12 m.

Según la Tabla X, las resistencias de estos cables serán:

- Cable 2 AWG:

$$R_{ca} = (0.52 \text{ Ohm}/1000\text{m}) (3\text{m})$$

$$R_{ca} = 0.0016 \text{ Ohm}$$

- Cable 6 AWG:

$$R_{ca} = (1.34 \text{ Ohm}/1000\text{m}) (12\text{m})$$

$$R_{ca} = 0.0161 \text{ Ohm}$$

Entonces la resistencia por cables será:

$$R_{ca} = 0.0016 + 0.0161$$

$$R_{ca} = 0.018 \text{ Ohm}$$

Por lo tanto:

$$R' = R_a + R_{ca}$$

$$R' = 0.292 + 0.018$$

$$R' = 0.31 \text{ Ohm}$$

- Verificación del circuito:

$$R \geq R'$$

$$0.616 \text{ Ohm} > 0.31 \text{ Ohm}$$

Como se puede apreciar en la verificación eléctrica, la desigualdad de las resistencias cumple con la condición sugerida, lo

que indica que el sistema opera normalmente.

Otra forma de comprobar el sistema, es utilizando la resistencia total del circuito, reemplazarla en la ecuación de la resistencia teórica y calcular la corriente que fluye en el circuito conformado. Esta corriente debe ser mayor que la corriente teórica calculada, es decir:

$$I' = (E_o - E_e/s)/R'$$

$$I' = (1.75 - 0.85)/0.31$$

$$I' = 2.9 \text{ A.}$$

Esta corriente obtenida (por cama de ánodos) es superior a la corriente teórica de protección y dá la seguridad necesaria para saber que el sistema opera normalmente y protege a satisfacción.

3.2.2 Memoria Técnica.-

Obtenida ya el diseño respectivo para un tanque, lo que resta es utilizar la misma

secuencia y proceder al diseño en los otros tanques de la unidad de SETRIA de la Refinería Esmeraldas.

Hay ciertos tanques que se excluyen del estudio, pues en la actualidad todavía reciben protección del sistema original; estos son los tanques: Y-T 8005, Y-T 8006; Y-T 8011, Y-T 8012, Y-T 8028, Y-T 8032 y Y-T 8033.

Los resultados obtenidos en los cálculos respectivos, están dados en la Tabla XIX.

3.3 MATERIALES Y ACCESORIOS A EMPLEARSE.-

Para proceder a la instalación inmediata de las camas anódicas en los tanques que almacenan asfaltos, se solicitó por intermedio del Departamento de Inspección Técnica los siguientes materiales:

- Cintas de vinil aislante (200 unidades)

- Cintas aislantes de caucho a tensión y autofundentes (200 unidades).

T A B L A N o . X I X

MEMORIA TECNICA DEL SISTEMA MODIFICADO



No. TANQUE	Dc (mA/m ²)	I (A)	t (años)	n	s (m)
Y-T 8001	7	18.43	6.1	47	3
Y-T 8002	7	18.43	6.1	47	3
Y-T 8003	7	18.43	6.1	47	3
Y-T 8004	7	18.43	6.1	47	3
Y-T 8007	20	19.29	7.3	49	2
Y-T 8008	20	19.29	7.3	49	2
Y-T 8009	10	2.63	4.0	7	3
Y-T 8010	10	0.89	3.8	3	3
Y-T 8013	10	1.83	3.5	5	4
Y-T 8014	10	1.83	3.5	5	4
Y-T 8015	10	1.83	3.5	5	4
Y-T 8016	10	1.83	3.5	5	4
Y-T 8017	10	2.63	4.0	7	3
Y-T 8018	10	2.63	4.0	7	3
Y-T 8019	10	4.67	5.0	12	3.5
Y-T 8020	10	4.67	5.0	12	3.5
Y-T 8021	10	23.63	6.1	60	3
Y-T 8022	10	23.63	6.1	60	3
Y-T 8023	10	9.66	6.5	25	2
Y-T 8024	10	9.66	6.5	25	2
Y-T 8025	10	5.91	5.4	15	3.5
Y-T 8026	10	8.83	5.2	23	3.5
Y-T 8027	10	8.83	5.2	23	3.5
Y-T 8029	10	19.86	6.0	50	3.0

Continuación..... T A B L A No. XIX

No. TANQUE	Dc (mA/m ²)	I (A)	t (años)	n	s (m)
Y-T 8030	20	5.25	5.3	14	3.0
Y-T 8031	20	5.25	5.3	14	3.0
A0 - V6	25	2.92	4.3	8	3.0
A0 - V7	25	2.92	4.3	8	3.0
A0 - V8	25	2.92	4.3	8	3.0
A0 - V9	25	2.92	4.3	8	3.0
A0 - V10	25	2.92	4.3	8	3.0
A0 - V11	25	2.92	4.3	8	3.0
A0 - V12	25	2.92	4.3	8	3.0

- Cable eléctrico 6 AWG (300 m)
- Cable eléctrico 2 AWG (500 m)
- Conectores perno partido de cobre 2 AWG (300 unidades).
- Conectores tipo T de cobre 1/0 AWG (200 unidades)
- Abrazaderas de 3/4" Conduit (200 unidades)
- Terminales de cobre tipo soldable 2 AWG (120 unidades).
- Tubos PVC de 3/4" x 3 m (100 unidades)

Con esta información de los materiales que son necesarios para la instalación del sistema catódico en la unidad de SETRIA de la Refinería Estatal de Esmeraldas, se pone fin a la fase de diseño y modificación.

El paso siguiente es la ejecución de la obra, es decir proceder con la instalación del sistema estudiado, que es el tema a tratar en el próximo capítulo.

CAPITULO IV

INSTALACION Y MANTENIMIENTO DEL NUEVO SISTEMA DE PROTECCION CATODICA.

En este capítulo se detalla el procedimiento de instalación de las camas anódicas en los tanques de almacenamiento de la unidad de SETRIA, siguiendo las indicaciones dadas en los respectivos planos que más adelante se presenten.

La instalación está prevista para ser realizada en las zonas de los tanques que almacenan asfaltos, pero existen ciertos inconvenientes (construcción de nuevos tanques para la ampliación de Refinería, temporal de invierno fuerte) que limitan por el momento este trabajo. Sin embargo, se procede a la instalación en los tanques A0-V6 y A0-V10.

Ya efectuada la instalación en estos tanques, se realizan las mediciones del potencial de ánodo abierto, corriente drenada por cama y potencial de estructura/suelo, a fin de verificar que los resultados sean los deseados. También se incluye un plan de mantenimiento del

sistema catódico y por último se hace un análisis económico para cuantificar el costo global del proyecto.

4.1 PLANOS DE INSTALACION.-

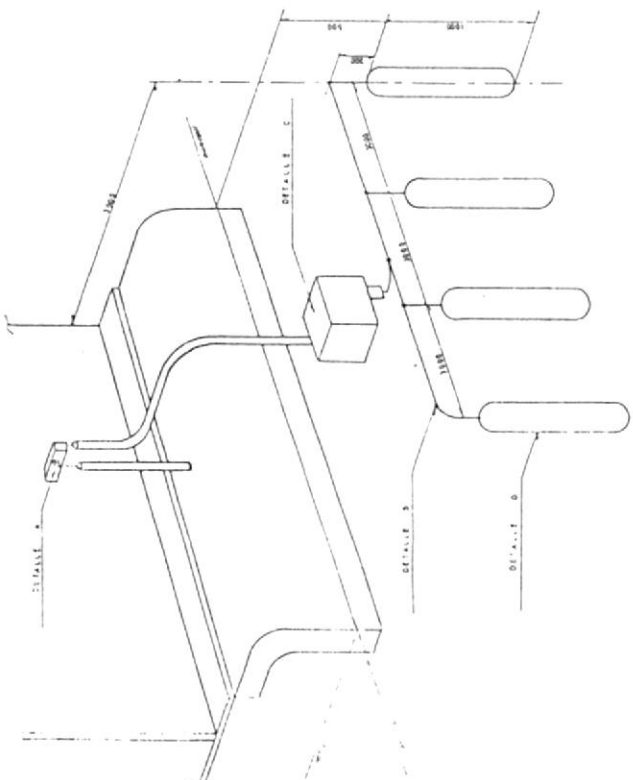
En los planos se presenta la disposición que van a tener las camas anódicas con respecto a los tanques. Cada plano especifica la instalación de acuerdo a las zonas (zona A hasta la F) que comprende la unidad de SETRIA, excepto el primero que presenta los detalles de la instalación.

Los planos son los siguientes y se presentan a continuación:

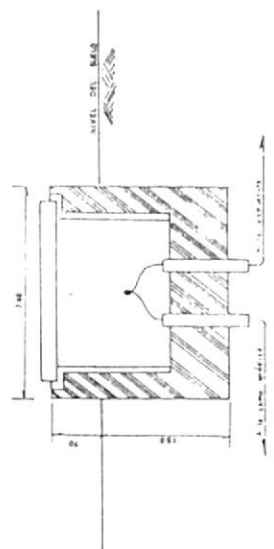
- PLANO N° 1.- Detalles de instalación
- PLANO N° 2.- Tanques de la zona A y B
- PLANO N° 3.- Tanques de la zona C
- PLANO N° 4.- Tanques de la zona D
- PLANO N° 5.- Tanques de la zona E
- PLANO N° 6.- Tanques de la zona F (asfaltos)

4.1.1 Detalle de instalación.-

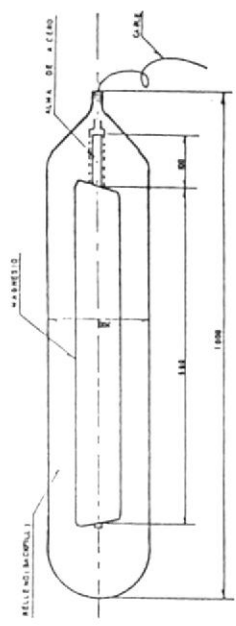
INSTALACION DE LOS ANCIOS DE MAGNESIO



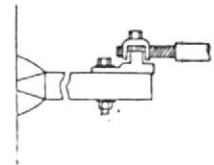
DETALLE C
(Caja de conexión)



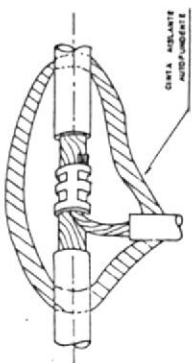
DETALLE D
(Anodo de Mg.)



DETALLE A
(Conexión al tanque)

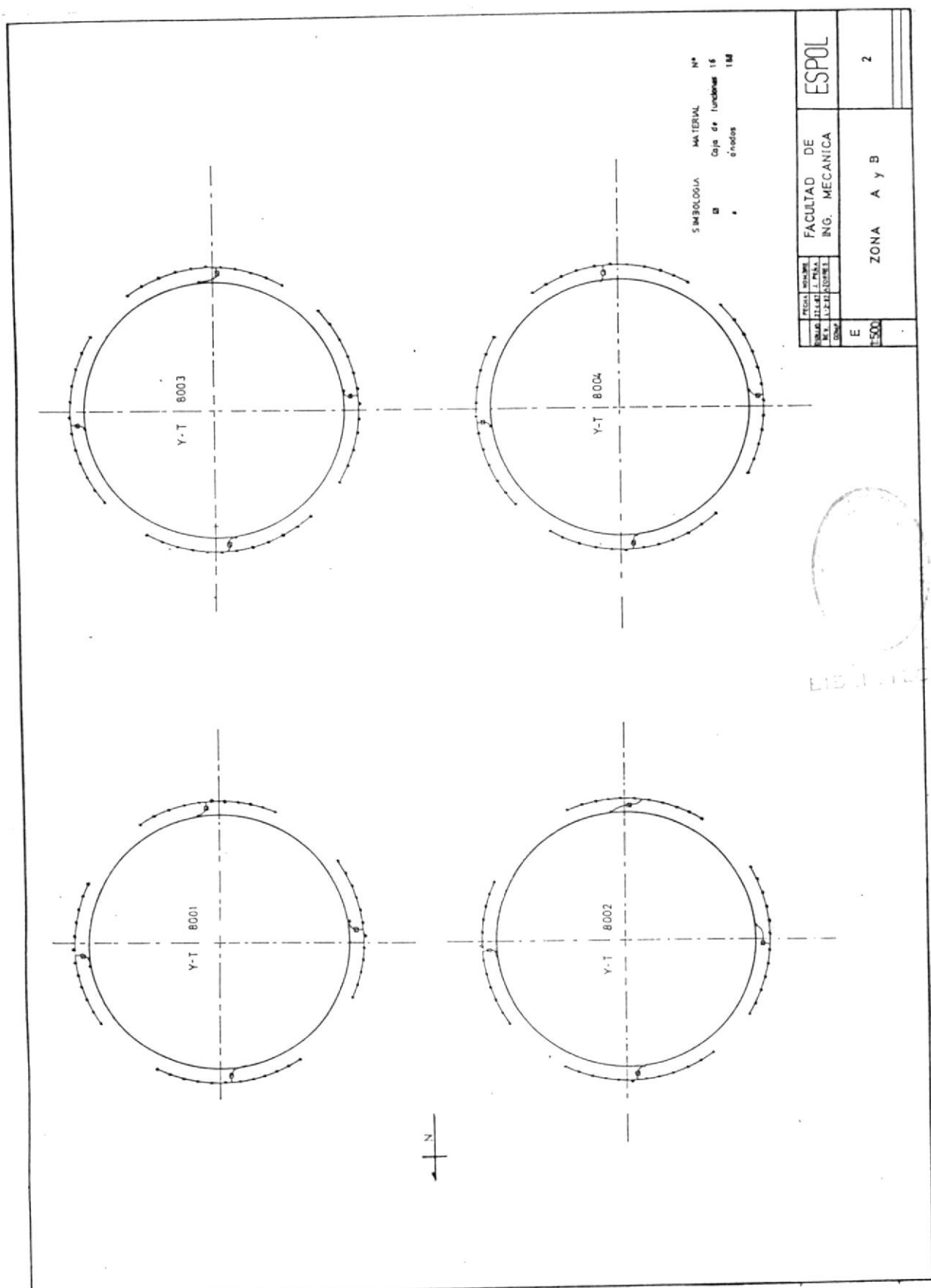


DETALLE B
(Conexión de cables)

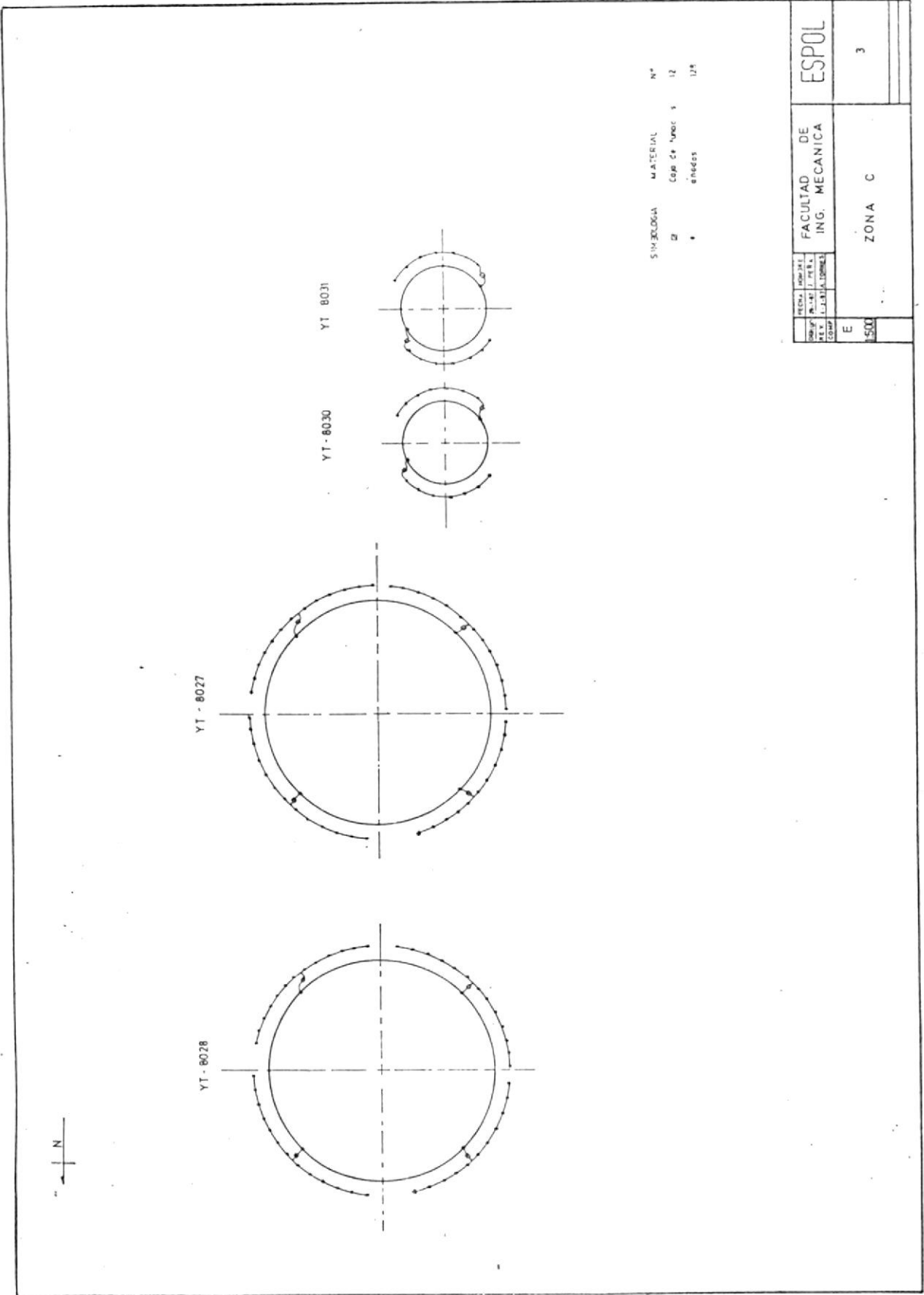


MECA. UNIV.	FACULTAD DE	ESPOL
UNIVERSIDAD DE VALPARAISO	ING. MECANICA	
ALUMNO	DETALLES DE INSTALACION	
FECHA	1.	

4.1.2 Plano de las zonas A y B.-



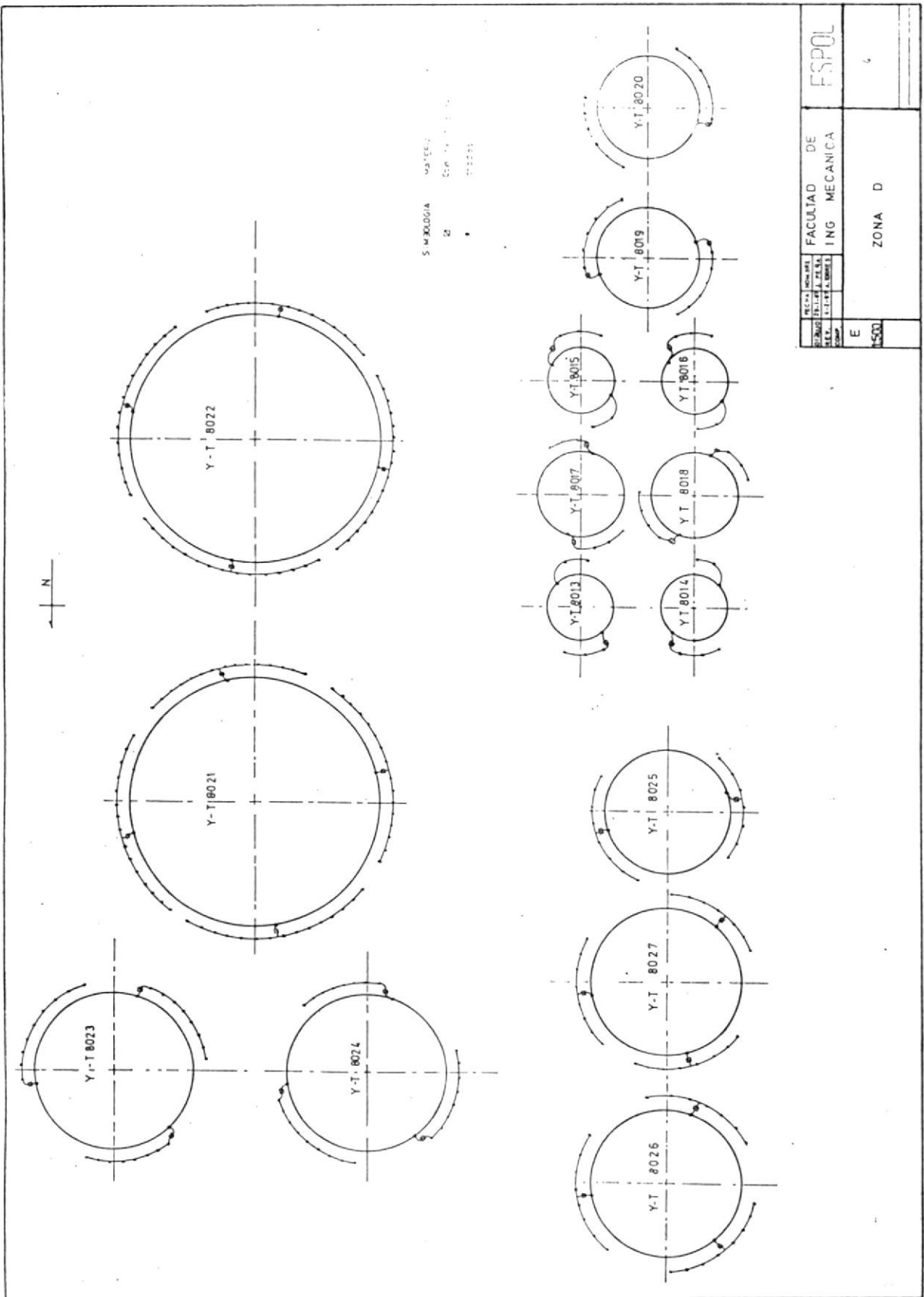
4.1.3 Plano de la zona C.-



SIMBOLIA MATERIAL N°
 12 Cop 24 1/2" x 12
 12 1/2" 12/8

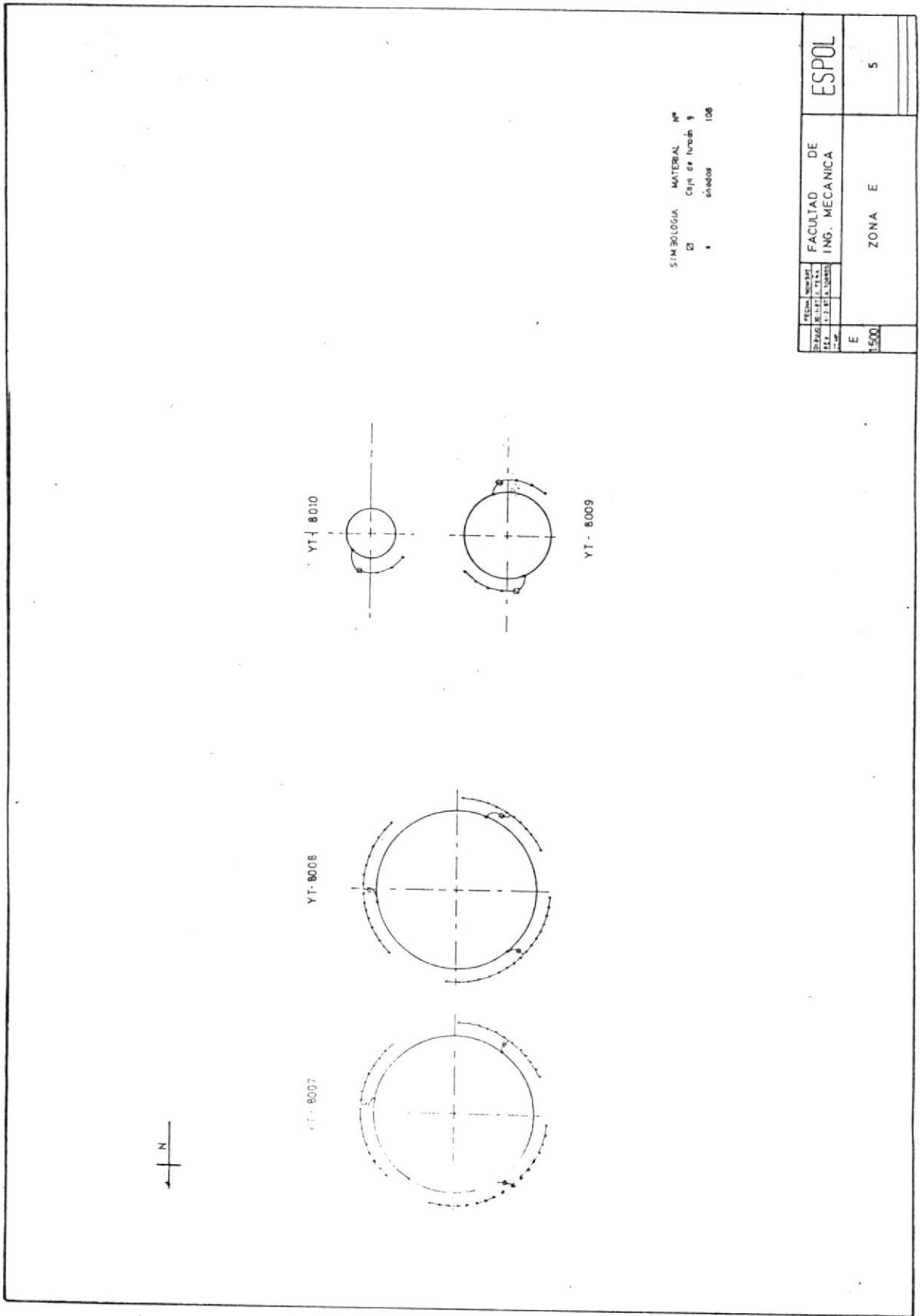
FECHA	PROYECTO	FACULTAD DE ING. MECANICA	ESPOL
NO. DE DISEÑO	NO. DE DISEÑO		
E	1500	ZONA C	3

4.1.4 Plano de la zona D.-



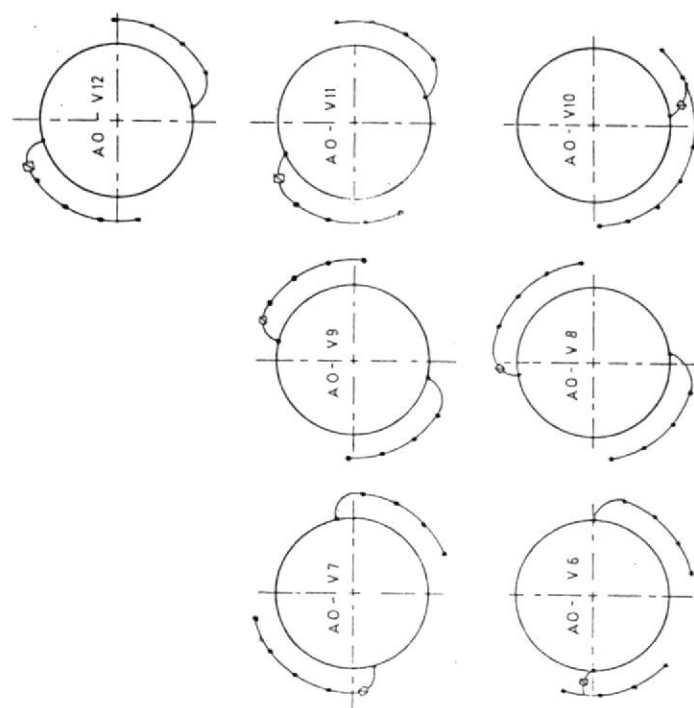
PROYECTO	ESPOL
FECHA	
ELABORADO	
REVISADO	
APROBADO	
ESCALA	1:500
E	
ZONA D	
FACULTAD DE ING. MECANICA	
ESPOL	

4.1.5 Plano de la zona E.-



SIMBOLOGIA MATERIAL N°
 □ Caja de Inyección
 • cilindros 108

FECHA	HOJA	FACULTAD DE ING. MECANICA	ESPOL
2010	1		
E		ZONA E	5
1500			



SIMBOLIA MATERIAL Nº
 □ Caja de fundición 7
 • ánodos 55

PLANO	ESPOL
TITULO	ING. MECANICA
NO. DE DISEÑO	ZONA F
ESCALA	6

4.2 PROCEDIMIENTO DE INSTALACION.-

Para llevar a ejecución la obra, la sección de Obras Civiles de Refinería, coordinó el trabajo de cavar zanjas y afines. Disponiendo ya con el material de recambio que se solicitó con anterioridad se procede a la instalación del sistema.

Las recomendaciones prácticas dadas por la National Association of Corrosion Engineers (NACE), son las siguientes (13):

- Seguir las especificaciones de los planos trazados del sistema catódico.
- Todo trabajo de protección catódica tiene que ser desarrollado bajo la supervisión de un inspector de obra, tal que haga respetar las especificaciones.
- Verificar que el relleno (Backfill) cubra completamente los ánodos y que esté en buenas condiciones, ya que cuando se almacena suele secarse y en durecerse.
- Verificar que el cabezal del ánodo esté bien conec tado al cable con que viene de fábrica.

- Los puntos donde se van a conectar la estructura y los cables de las camas deben estar debidamente limpios, secos y libres de impurezas.
- Utilizar material aislante para recubrir las conexiones y evitar que entre humedad en ellas.

Con la finalidad de realizar un trabajo planificado, se elaboró un cronograma de actividades conjuntamente con el Jefe del Departamento de Inspección Técnica y con el Supervisor de Corrosión. Este cronograma que se presenta en la Figura 18, trata de cubrir todos los aspectos y consideraciones de la instalación, que se detalla a continuación:

- a) Se retiró los ánodos desgastados de sus zanjas respectivas, los mismos que en su mayoría quedaba solamente con el alma de acero. La Figura 19 ilustra el estado de los ánodos al momento en que fueron extraídos del suelo.
- b) A una distancia de 3 metros del extremo de la estructura del tanque, se realizó una perforación en el terreno de aproximadamente 1.5 metros de profundidad y de un área transversal de 0.7 me-

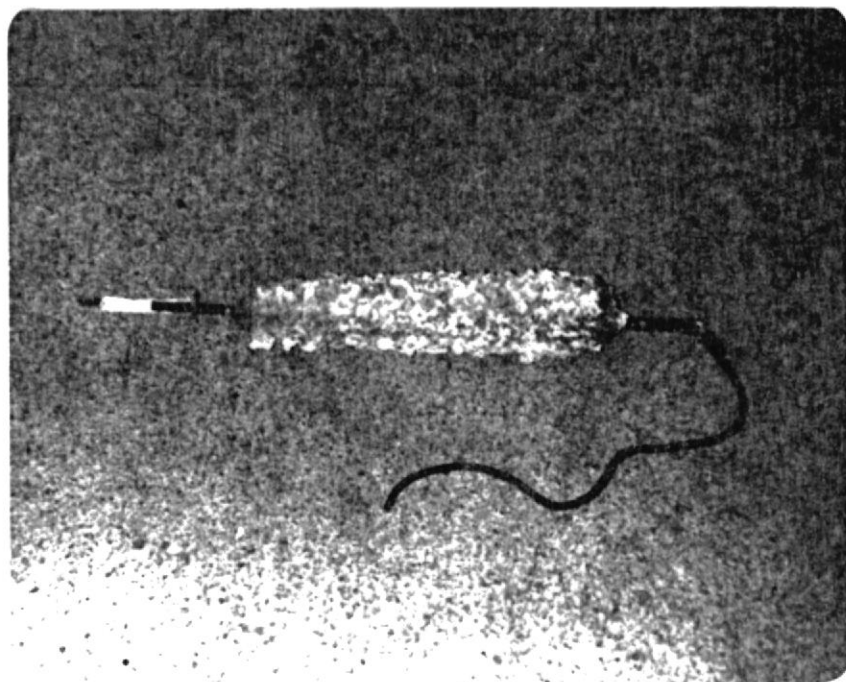


FIGURA 19.- ESTADO FINAL QUE PRESENTAN LOS ANODOS DESGASTADOS, LUEGO DE SER EXTRAIDOS DEL SUELO.

tros por lado. Esta zanja corresponde a cada ándo y la ubicación está dada por los planos de instalación.

c) Las zanjas para el cable de conexión eléctrica son de 0.30 metros y de longitud 3 metros que hay entre ánodo-ánodo.

d) Ya excavado el pozo, se introduce al ánodo que está recubierto con relleno. Ver Figura 20.

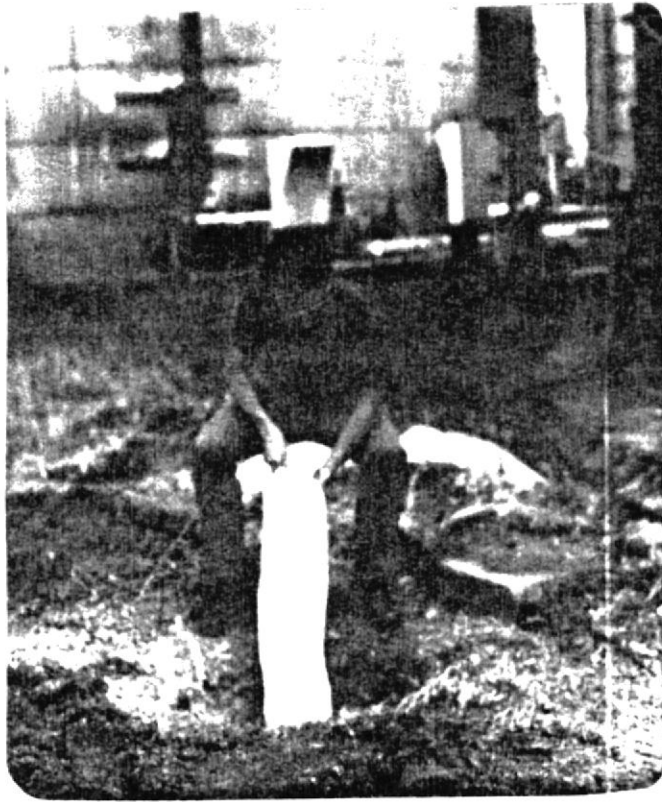


FIGURA 20.- INSTALACION DE LOS ANODOS DE MG. EN LAS RESPECTIVAS ZANJAS.

- e) Medición del potencial de ánodo abierto para cada ánodo, utilizando el voltímetro MC Miller A1 y el electrodo de Cu/CuSO_4 .

- f) Se conectó eléctricamente los ánodos entre sí con cable 6 AWG y mediante conectores de perno partido. Ver Figura 21. Las uniones se aislaron posteriormente utilizando cinta autofundente y luego con cinta de vinil. Cabe indicar que la unión más recomendable es con soldadura Cadwell, pero dicho equipo actualmente se encuentra averiado.



FIGURA 21.- PROCEDIMIENTO DE CONEXION ENTRE LOS CABLES ELECTRICOS.

- g) Se conectó la cama a la estructura a través de la caja de medición utilizando cable 2 AWG.
- h) Una vez conectados los ánodos en camas, se realizaron pruebas de potencial de ánodo abierto, corriente drenada por la cama anódica hacia la estructura y potencial estructura/suelo (conectada a la estructura), empleando los equipos MC Miller A1 y MC Miller B3-A1.
- i) Se rellenó las camas anódicas y las líneas de conexión eléctrica.

j) Mediciones periódicas de los parámetros citados en el literal h. Esto es con la finalidad de verificar como el sistema va evolucionando con el transcurrir de los días, hasta que llegue al potencial de protección deseado.

RESULTADO DE LAS PRUEBAS:

Las mediciones que se efectuaron en las camas anódicas instaladas en los Tanques A0-V6 y A0-V10 son: Potencial de ánodo abierto, corriente drenada por cama y potencial estructura/suelo. Cabe indicar que para el Tanque A0-V10 se instaló una sola cama de 8 ánodos en lugar de hacer dos camas de a 4 ánodos cada una, esto se debe a que hay construcciones aledañas en proceso.

Los resultados de las pruebas se adjuntan a continuación en las Tablas XX y XXI respectivamente.

OBSERVACIONES:

El potencial de ánodo abierto de las camas de aproximadamente el mismo valor que el utilizado en el análisis teórico (los ánodos conectados en paralelo tie

T A B L A No. XX

'RESULTADO DE PRUEBAS EN EL TANQUE AO - V6

FECHA DE PRUEBAS	POTENCIAL (V)		CORRIENTE (A)	
	N O R T E	S U R	N O R T E	S U R
12/1/87	-0.80	-1.10	1.9	2.1
13/1/87	-0.82	-0.90	2.3	2.2
14/1/87	-0.85	-0.93	2.2	2.4
15/1/87	-0.89	-0.97	2.6	2.95
16/1/87	-0.90	-1.00	2.3	2.9
17/1/87	-0.93	-0.99	2.1	2.4

OBSERVACIONES: $E_e/s = -0.57V$ (antes de conectar el sistema) $E_o = -1.70V$ (valor medido en el terreno)

T A B L A No. XXI

RESULTADO DE PRUEBAS EN EL TANQUE AO - VIO

FECHA DE PRUEBAS	P O T E N C I A L (V)		C O R R I E N T E (A)	
	E S T E	O E S T E	E S T E	O E S T E
13/1/86	-0.70	-0.75	*	2.9
14/1/86	-0.93	-0.98	*	3.1
15/1/86	-0.89	-1.15	*	3.3
16/1/86	-0.87	-0.95	*	3.2
17/1/86	-0.95	-1.10	*	3.4

OBSERVACIONES: $E_e/s = -0.62 V$ (antes de conectar el sistema)

$E_o = -1.70 V$ (valor medido en el terreno)

* = No se pudo medir (construcción de tanques).

REVISADO

nen el mismo potencial de ánodo abierto que cuando se los mide separadamente).

Los resultados de las pruebas realizadas en los tanques A0-V6 y A0-V10, dados en las Tablas XX y XXI son satisfactorios, ya que cumplen con lo previsto, tanto en requerimiento de corriente como de voltaje.

Se observa un incremento del potencial de protección (bajo el -0.85 V), el cual tiende a estabilizarse a medida que transcurren los días.

Los valores obtenidos de corriente medidos en el tanque A0-V6, son menores que en el tanque A0-V10. Se debe a que el tanque A0-V6 al tener dispuestas dos camas de 4 ánodos cada una, drena menor cantidad de corriente que el A0-V10 que tiene una sola cama de 8 ánodos, pues los ánodos están conectados entre sí un paralelo razón por la que se suman sus corrientes drenadas.

4.3 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA.-

El sistema instalado, necesita de una constante y permanente inspección tal, que se verifique su fun-

cionamiento normal. Las condiciones de mantenimiento son simples, de fácil ejecución y económicas si las comparamos con respecto a las de un sistema de corrientes impresas(10).

La frecuencia con que el sistema debe ser inspeccionado, puede variar mucho de acuerdo a la estabilidad que presente.

Por lo tanto, se recomienda inspeccionar cumpliendo con un plan de mantenimiento preventivo y que consistirá básicamente en realizar mediciones de potencial de ánodo abierto, corriente drenada por la cama anódica y de potencial de protección (estructura/suelo).

Este programa de mantenimiento contempla la medición cada tres meses del potencial de ánodo abierto, de la corriente drenada por cama, al igual que la medición del potencial estructura/suelo.

4.4 ANALISIS DE COSTOS Y FACTIBILIDAD DEL SISTEMA.-

Este análisis tiene la finalidad de conocer el presupuesto global para proceder con la instalación

del sistema catódico en los tanques de la unidad de SETRIA.

Para tal efecto, se hacen dos consideraciones:

- Disponibilidad económica en cuanto a la adquisición de materiales.
- Personal de trabajo y supervisión (mano de obra).

Referente a la adquisición de materiales, en la Tabla XXII, se presenta la lista de materiales con sus respectivos precios y la cantidad que se emplearía en la instalación.

Con respecto a la mano de obra, CEPE cuenta con el personal debidamente capacitado para efectuar los trabajos, de tal manera que sea este personal el que realice las conexiones, así como también las mediciones respectivas. El personal que queda por contratar, es el que realice el trabajo de zanjas y canales en el terreno.

Luego de presentar los costos de inversión por adquisición de material, toca ahora hacer un análisis de

costos de la mano de obra del personal a contratar para realizar el trabajo de cavar las zanjas donde se introducen los ánodos.

Suponiendo que esta obra se dá a un contratista, es te basa su presupuesto de acuerdo a una serie de factores tales como: número de personas a contratar, sueldo a pagar, gastos de alimentación, viáticos, seguro de vida, depreciación de equipos, fecha de en trega de la obra, etc.

Ahora bien, considerando todos estos factores, con 10 hombres trabajando por día con un plazo de entre ga de 145 días laborables a un valor estimado de S/.6.000 por hombre, el costo por mano de obra será:

145 días (10 hombres/día) (S/.6.000/hombre)
 S/.8'700.000

Que es el valor presupuestado a 7 meses laborables

La factibilidad del sistema catódico desde el punto de vista económico, está vinculada con las posibili dades y recursos con que cuenta Refinería para su ejecución.

T A B L A No. XXII

C O S T O S D E L O S M A T E R I A L E S



MATERIAL	PRECIO UNITARIO (S/.)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL (S/.)
ANODOS	71500	719 u.	51'408,500
CABLE 6 AWG	143	2400 m.	343,200
CABLE 2 AWG	285	500 m.	142,500
CINTA VINIL	660	400 u.	264,000
CINTA AUTO FUND.	1430	400 u.	572,000
PERNO PARTIDO	429	800 u.	343,200
ABRAZADERAS	33	200 u.	6,600
TERMINALES	275	120 u.	33,000
TUBOS PVC.	171	100 m.	17,100
CONECTOR T	418	200 u.	83,600
	T O T A L = S/. 53'213,700 .		

Como se habrá apreciado en la Tabla XXII, los costos relativamente altos de la inversión está dado por los ánodos de Magnesio. Ventajosamente Refinería cuenta con 1000 ánodos en la actualidad en sus bodegas.

De igual manera, Refinería economiza en contratar personal especializado para la instalación, conexión y supervisión del sistema, ya que cuenta con personal propio para estos trabajos.

En la experiencia obtenida de la instalación del sistema en los tanques de asfaltos (A0-V6 y A0-V10), el costo global para cada tanque dió S/.650.000,00 valor que incluye los materiales y la mano de obra. Esta cifra es mínima si se compara con los fuertes gastos que representa tener un tanque fuera de servicio.

En definitiva, el costo global de la obra es la suma de las dos consideraciones anotadas (costos de materiales y mano de obra), es decir:

Costo global del proyecto = 53'213.700 + 8'700.000

Costo global del proyecto = S/.61'913.700

De esta cantidad obtenida, se estima que solo el 15% gastaría Refinería para la ejecución de este proyecto que en su mayoría es debido a mano de obra.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



De la presente investigación se concluye lo siguiente:

1. Se pretende que este trabajo sirva como guía de los procedimientos de diseño utilizados en el dimensionamiento de sistemas de protección catódica y que son aplicables en la construcción de obras infraestructurales que se ejecutan en el país.
2. Debido a que las condiciones del terreno son variables a medida que transcurre el tiempo, se ha logra-do justificar el criterio asumido en la fase previa al diseño, el cual fue de realizar las mediciones de campo actualizadas (resistividad del terreno, PH del terreno y potencial estructura/suelo) y cuantificar de este modo el grado de corrosividad del medio.
3. Se dimensionó la densidad de corriente aplicable pa-ra cada tanque, considerando la resistividad del te-rreno (que como se determinó varía entre 150 a 500 Ohm-cm) y la temperatura de operación de los tanques.

4. En base a los datos obtenidos se determinó un aumento en el número de ánodos por cama, evitándose de esta manera un desgaste pronunciado en el material anódico, lo que implica directamente un incremento en la durabilidad de las instalaciones catódicas.

5. Como se puede apreciar en la Tabla XIX (Memoria Técnica) referente al espaciamiento entre ánodos, hay un 90% de los tanques en los que se consideró un aumento de los espaciamientos (en el rango de 3 a 4 metros) a fin de dar mayor cobertura del área a proteger, es decir el fondo de los tanques. Pues en el diseño original se dió un espaciamiento de 2 metros entre ánodos para todos los tanques, lo que ocasionaba zonas distantes entre las causas anódicas y la estructura del tanque con la consecuente disminución del área protegida. Además que se comprueba fácilmente que aumentando el espaciamiento entre ánodos se disminuye la resistencia eléctrica de las camas anódicas, situación que es ventajosa desde el punto de vista eléctrico.

6. Aunque nuestra recomendación es usar los ánodos de Magnesio con una capacidad de corriente de 1230 Ahr/Kg, desde el punto de vista económico, se justifica ejecutar el proyecto con los ánodos existentes que

dispone la Refinería Estatal Esmeraldas, (1000 ánodos), además que cuenta con la participación de personal debidamente capacitado para el efecto. La inversión extra que se tendría que hacer es contratar personal para que se realice las zanjas respectivas de los ánodos según indican los planos del sistema a ser instalado.

7. Se ha logrado tener destreza en el manejo de equipos que se utilizan en protección catódica, además que se ha obtenido experiencia en la aplicación de criterios de diseño e instalación que son requisitos necesarios para tener mayor confiabilidad en un futuro trabajo de protección catódica.

Se sugiere poner en consideración las siguientes recomendaciones:

1. Llevar a cabo la instalación del sistema de protección catódica modificado en forma urgente para todos los tanques de la Refinería Estatal Esmeraldas, en base al presente estudio, pues existe un 90% de los tanques que está sin protección catódica actualmente.
2. Realizar inspecciones periódicas (trimestrales) del

sistema a ser instalado. Estas incluyen mediciones de potencial de ánodo abierto, corriente adecuada por cama y potencial estructura/suelo. Los resultados de estas mediciones se deben registrar en el Historial del sistema catódico para cada tanque a fin de analizar su comportamiento a través del tiempo de servicio.

3. Recomendar el uso de otros tipos de ánodo de Magnesio que tenga mayor capacidad de corriente, tales como los presentados en la Tabla I, que indican un valor de $C = 1230 \text{ Ahr/Kg}$, pues el usado actualmente tiene una capacidad de $C = 356 \text{ Ahr/Kg}$. Se deja esta alternativa propuesta para una futura instalación por las razones ya explicadas anteriormente.

4. Se podría hacer un estudio sobre la factibilidad de aplicar protección catódica por corrientes impresas debido a que se observa que en un 40% de los tanques hay requerimientos de corriente de protección superior a los 5 amperios. Además que económicamente el costo de los ánodos de sacrificio y sus interconexiones representa un valor elevado, más aún si consideramos el costo por efecto de las perforaciones numerosas y movimiento de tierra por la instalación. Caso contrario si se utilizara corrientes impresas, en

que el costo por número de ánodos inertes se reduce considerablemente y se deprecia a no menos de 15 a 20 años de servicio.

5. Las cajas de conexión entre la cama anódica y la estructura del tanque no presentan ninguna ventaja al sistema catódico, por lo que se considera conveniente su no utilización y omitirlos en las nuevas instalaciones de protección catódica (ampliación de Refinería).

6. Para futuras instalaciones de tanques de almacenamiento, se podría preparar la superficie del terreno mediante el recubrimiento de sustancias inócuas, con el objeto de elevar el grado de resistividad del terreno (disminución de la conductividad eléctrica).

Así mismo, se recomienda pintar con recubrimientos adecuados las superficies metálicas de los tanques en contacto con el suelo.

Con estas recomendaciones, se obtendría requerimientos de corriente de protección reducidos en un 80%, con las consecuentes ventajas económicas.

7. Siendo la ESPOL un centro dedicado a la investigación, se podría recomendar la suscripción de convenios de colaboración con otras instituciones particularmente CEPE, a fin de realizar estudios de diseño y construcción de los tipos de ánodos comunmente empleados en la industria con el consiguiente beneficio, tanto técnico como económico.



A P E N D I C E S

APENDICE A

EQUIVALENCIA ENTRE LOS ELECTRODOS DE REFERENCIA

APENDICE B

SERIES ELECTROQUIMICAS EMPLEANDO DIFERENTE ELECTRODO DE
REFERENCIA

TABLA Nº XXIV

POTENCIALES ESTANDARES DE OXIDO-REDUCCION (REDOX)
 EMPLEANDO ELECTRODO NORMAL DE HIDROGENO Y A 25°C⁽¹⁵⁾

METAL	POTENCIAL (V)
$Au = Au^{+3} + 3e$	1,498
$O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$	1,229
$Pt = Pt^{+2} + 2e$	1,2
$Pd = Pd^{+2} + 2e$	0,987
$Ag = Ag^+ + e$	0,799
$2Hg = Hg_2^{++} + 2e$	0,788
$Fe^{+3} + e = Fe^{+2}$	0,771
$O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH$	0,401
$Cu = Cu^{+2} + 2e$	0,337
$Sn^{+4} + 2e = Sn^{+2}$	0,15
$2H^+ + 2e = H_2$	0,000
$Pb = Pb^{+2} + 2e$	- 0,126
$Sn = Sn^{+2} + 2e$	- 0,136
$Ni = Ni^{+2} + 2e$	- 0,250
$Co = Co^{+2} + 2e$	- 0,277
$Cd = Cd^{+2} + 2e$	- 0,403
$Fe = Fe^+ + 2e$	- 0,440
$Cr = Cr^{+3} + 3e$	- 0,744
$Zn = Zn^{+2} + 2e$	- 0,763
$Al = Al^{+3} + 3e$	- 1,662
$Mg = Mg^+ + 2e$	- 2,363
$Na = Na^+ + e$	- 2,714
$K = K^+ + e$	- 2,925

TABLA No. XXV

SERIE GALVANICA PRACTICA EMPLEANDO ELECTRODO DE $Cu / Cu SO_4$. EN SUE -
LO NEUTRO Y AGUA. (5)

M E T A L	POTENCIAL (V)
Mg. comercialmente puro	-1.75
Aleación de Mg.	-1.60
Zn.	-1.10
Aleación de Al (5% Zn)	-1.05
Al comercialmente puro	-0.80
Acero dulce (puro y brillante)	-0.50 a -0.80
Acero dulce (enmohecido)	-0.20 a -0.50
Hierro fundido	-0.50
Plomo	-0.50
Acero dulce en concreto	-0.20
Cobre, Bronce, Latón	-0.20
Hierro fundido con alto % de Si	-0.20
Carbono, Grafito, Coque	+0.30

B I B L I O G R A F I A



1. L.P. NUNEZ, Protecao Catódica (4ta. Edición; Sao Paolo: PETROBRAS, 1980), pp. 15-54.
2. V. GENTIL, Protecao Catódica (2da. Edición; Río de Janeiro: Instalacoes e engenharia de corrosao Ltda, 1981), pp. 34-73.
3. W.A. PEABODY, Control of Pipeline corrosion (Houston: National Association of Corrosion Engineers, 1967).
4. D. GUILLING, Técnica Moderna en el combate contra la corrosión (México D.F.: Ingeniería de Corrosión y Protección Catódica, 1963).
5. TEXACO, Manual for corrosion control (Texas: Houston Reseach Center, 1985).
6. L.A. MAZZA, La proteccion catódica: Técnica del control de la corrosión (Rosario: 5to. Congreso Argentino de Ingeniería, 1972).

7. V.M. GUTIERREZ, La corrosión y su control (Bogotá: Empresa Colombiana de Petróleos, 1974).
8. T. HAYAHAWA, A study on Setting of Required current density for outer botton plate of aboveground Tanks (Yokohama; Chiyoda Chemical Engineering & Construction Co, Ltd., August 1986), pp. 1-3.
9. A. CABRERA, Corrosión (Esmeraldas: Refinería Estatal Esmeraldas, 1984), pp. 10.1 - 10.27.
10. J.H. MORGAN, Cathodic Protection (Midland, Dow Chemical Company, 1959).
11. Design, Installation, Operation, and Maintenance of impressed current Deep Grounbeds (Texas: National Association of Corrosion Engineers, 1972).
12. J.L. LOPEZ, Protección Catódica (Caracas: Instituto de Planificación y Gerencia, CA).
13. Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems (Texas: National Association of Corrosion Engineers, 1969), pp. 13-25.

14. Cathodic Protection system for Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (Yokohama: Chiyoda Chemical Engineering & Construction Co, Ltd, February 1977), pp. 1-5.
15. M. FONTANA y N.GREENE, Corrosion Engineering (USA, Mc Graw- Hill Book Company, 1967).
16. D. TANAKA, Corrosao e Protecao contra corrosao de metais (5ta. Edición; Sao Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1983), pp. 169-176.

