

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño e Instalación de un Sistema Integral de Protección
Catódica para un Tanque de agua de proceso en la Industria
Petrolera”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Álvaro Vicente Moreano Altamirano

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2005

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

A cada uno de los profesores que me supieron transmitir sus conocimientos a lo largo de mi vida estudiantil, a mis amigos, a los Ing. Julián Peña y Wilson Chávez; y en especial a mi familia que confiaron en mí.

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

A MI HERMANO



BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS G."
F. I. M. C. P.

TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Ernesto Martínez L.
DELEGADO DEL DECANO
PRESIDENTE

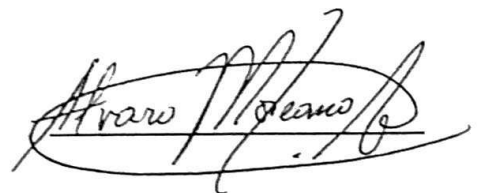
Ing. Julián Peña E.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Andrés Rigaíl C.
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de ésta Tesis
de Grado, me corresponden exclusivamente; y el
patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA
SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alvaro Moreano Altamirano', enclosed within a large, loopy oval flourish.

Alvaro Moreano Altamirano

RESUMEN

La industria petrolera en el país realiza grandes inversiones en ampliaciones y el mejoramiento de su infraestructura, y es por ello que el objetivo de esta tesis es implementar un sistema integral de protección contra la corrosión previa a la puesta en servicio de un tanque de gran capacidad que almacenará agua de proceso, cuyo origen proviene durante la extracción de crudo en los pozos petroleros.

El problema de la corrosión afecta a los tanques por el medio ambiente en donde se encuentren expuestos, es así que existen tres de distinta naturaleza que afectan directamente a la vida útil del equipo, siendo ellos el suelo, el electrolito que almacenan y las condiciones atmosféricas.

La tesis se fundamenta en base a las nuevas investigaciones realizadas por fabricantes de materiales y equipos de protección catódica, quienes implementan nuevas tecnologías en métodos mas eficientes de protección contra la corrosión; ésta información fue utilizada para la selección del método apropiado tal que no afecte a estructuras metálicas adyacentes al tanque.

Posteriormente, se pone a consideración los cálculos de las variables más importantes que intervienen para el diseño de la protección catódica externa, utilizando una malla de titanio con recubrimiento de óxidos metálicos. Además se muestra la configuración y disposición de la malla en el sitio final de operación.

Para el diseño de la protección interna, los cálculos recomiendan el uso de ánodos tipo galvánicos; considerando las propiedades del agua y temperaturas de operación del tanque, éstos ánodos serán de una aleación resistente a éstas condiciones y que provea la protección adecuada al interior del tanque.

La instalación y puesta en marcha de cada uno de los componentes del sistema integral de protección catódica, es uno de los factores más importantes que intervienen en el desempeño de cualquier sistema catódico instalado. Es por ello que se detalla con gran detenimiento, ya que con ello se lograrán los resultados deseados y la medición correcta de los parámetros de control del sistema catódico, exigidos por normas internacionales.

Finaliza la tesis con las respectivas conclusiones y recomendaciones, indicando los programas de funcionamiento y monitoreo, para así conocer el comportamiento a lo largo del tiempo del sistema catódico instalado, y en un futuro aplicar los correctivos adecuados.

INDICE GENERAL

	Pàg.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGIA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS:.....	VII
INDICE DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
1. SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATODICA APLICADOS A TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	2
1.1 Normas Internacionales para sistemas catódicos externos.....	2
1.1.1 Norma API 651.....	3
1.1.2 Norma NACE RP 0193.....	5
1.2 Protección Interna mediante ánodos de sacrificio según Norma NACE RP 0575.....	6
1.2.1 Propiedades de los ánodos galvánicos más utilizados.....	6
1.2.2 Selección de ánodos en función del electrolito.....	7
1.2.3 Configuraciones utilizadas al instalar ánodos galvánicos.....	8

1.3 Protección Externa por corrientes impresas.....	9
1.3.1 Aplicaciones de sistemas tradicionales.....	10
1.3.2 Nuevas Tecnologías en sistemas de protección.....	10
1.3.3 Protección con ánodos Titanio – Óxidos Metálicos tipo Cinta.....	11
1.3.4 Proceso de soldadura por resistencia RSW aplicado al Titanio.....	12
1.4 Ventajas de los ánodos Titanio – Óxidos Metálicos con respecto a los tradicionales.....	15

CAPITULO 2

2. DISEÑO DEL SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCION

CATÓDICA.....	16
2.1 Datos preliminares para el diseño.....	16
2.2 Diseño del Sistema Catódico para la protección externa.....	18
2.2.1 Requerimientos de corriente.....	18
2.2.2 Determinación de la longitud efectiva del ánodo Titanio – Óxidos metálicos tipo cinta.....	20
2.2.3 Análisis diferencial para determinar la resistencia de la malla anódica.....	27
2.2.4 Cálculo de la resistencia total del sistema catódico.....	29

2.2.5 Dimensionamiento y selección del rectificador.....	34
2.3 Diseño del Sistema catódico para la protección interna.....	35
2.3.1 Consideraciones previas al diseño.....	35
2.3.2 Cálculo de la masa anódica.....	37
2.3.3 Determinación del número y tipo de ánodos.....	37

CAPITULO 3

3. INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA

PROPUESTO.....	39
3.1 Procedimiento de Instalación del Sistema Externo de Protección.....	39
3.2 Procedimiento de instalación del Sistema Interno de Protección.....	44
3.3 Protocolos de operabilidad de materiales y equipos.....	48
3.4 Puesta en marcha del sistema de protección.....	50
3.4.1 Aplicación del criterio de los 100 mV.....	52
3.4.2 Procedimiento para pruebas de polarización.....	52
3.4.3 Resultados obtenidos en las pruebas del tanque.....	56
3.5 Desarrollo de un programa de inspección para monitoreo de potenciales.....	60
3.6 Análisis de Resultados.....	62

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
--	----

APENDICES

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

A	Amperio
API	Instituto Americano de Petróleo
AST	Tanques de almacenamiento por sobre la superficie
HAZ	Zona afectada por el calor
Lb	Libras
m	metros
mm	milímetros
NACE	Asociación Americana de Ingenieros de Corrosión
MMO	Oxidos metálicos (Mixed Metal Oxides)
Nb	Niobio
PC	Protección Catódica
Pt	Platino
pH	Concentración de iones H^+
RSW	Soldadura de punto por resistencia
RWMA	Asociación de fabricantes de equipos de soldadura

por resistencia

SPC

Sistema de Protección Catódica

Ti

.

Titanio

SIMBOLOGIA

A	Area del fondo del tanque
Bls	Barriles
C _a	Capacidad de suministro de corriente
D	Diámetro del tanque
DC	Corriente continua
D _{CT}	Densidad de corriente nominal
D _{CR}	Densidad de corriente real
e	Eficiencia del recubrimiento
ρ	Resistividad del suelo
I _{PC}	Corriente de protección catódica
Θ	Semiángulo de distribución de la corriente
Log	Logaritmo en base 10
S	Distancia máxima a ser cubierta por una cinta anódica
L _{req}	Longitud requerida o efectiva de cinta anódica
L _{real}	Longitud real de instalación de la cinta
n	Número de cintas y/o ánodos

M	Masa anódica total
M_l	Masa por unidad del longitud
R_1	Resistencia anódica usando ecuación de Dwigth
R_2	Resistencia ánodo – tanque
R_T	Resistencia total de la malla anódica
S	Distancia de separación entre cintas
W	Ancho de la cinta anódica

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Anodos de zinc usados para protección de Tanques.....	9
Figura 1.2 Nuevas formas de instalar sistemas catódicos para protección de fondos de Tanques.....	11
Figura 1.3 Unión de la platina de titanio con barra conductora, mediante cinco puntos de soldadura por resistencia.....	14
Figura 1.4 Punto de soldadura entre barra de titanio y cinta anódica utilizando la soldadora portátil RSW.....	14
Figura 2.1 Modelo de cobertura desde una cinta anódica hacia una Sección del fondo del Tanque.....	23
Figura 2.2 Distribución de las cintas anódicas en el fondo del Tanque.....	24
Figura 2.3 Sistema de coordenadas para hallar resistencia anodo Tanque.....	27
Figura 3.1 Electrodo de referencia permanente Cu/Cu SO ₄ junto con su tubo rígido galvanizado.....	40

Figura 3.2	Encapsulación epóxica en conexiones eléctricas.....	41
Figura 3.3	Instalación final de la malla anódica en el fondo del tanque.....	44
Figura 3.4	Ubicación final de los ánodos Galvalum III al interior del tanque.....	46
Figura 3.5	Puesta en sitio del transformador – rectificador y del poste con la estación de prueba tipo GUAT 26	47
Figura 3.6	Medición del potencial de polarización en el centro del fondo del tanque.....	53

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1	Cuadro de parámetros utilizados al soldar
	Titanio – MMO.....13
Tabla 1.2	Propiedades de los ánodos más utilizados en sistemas catódicos por corrientes impresas.....15
Tabla 2.1	Longitudes de los ánodos tipo cinta.....25
Tabla 2.2	Longitudes de las barras de Titanio.....33
Tabla 2.3	Composición química de los ánodos Galvalum III.....38
Tabla 3.1	Datos obtenidos de la prueba en vacío del Transformador – rectificador.....48
Tabla 3.2	Datos obtenidos de la prueba con carga del

	Transformador – rectificador.....	49
Tabla 3.3	Valores de potenciales naturales de los ánodos	
	Galvánicos.....	50
Tabla 3.4	Potenciales Naturales del Tanque.....	56
Tabla 3.5	Ensayo ON – OFF realizado al Tanque.....	56
Tabla 3.6	Prueba de Polarización al Tanque.....	57
Tabla 3.7	Prueba de Interferencia al Tanque.....	58
Tabla 3.8	Potenciales de polarización al interior del Tanque.....	59

INDICE DE PLANOS

Pàg.

Plano 1	Detalles de Instalación de malla anódica.....	66
Plano 2	Detalles de conexiones en malla anódica.....	67
Plano 3	Instalación de ánodos en Tanque.....	68
Plano 4	Detalles de conexiones en ánodos.....	69
Plano 5	Detalles de conexiones eléctricas en malla anódica.....	70

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo planteará el Diseño e Instalación de un sistema integral de Protección Catódica previo a la construcción y entrega de un Tanque de agua de proceso situado en las instalaciones de una industria petrolera asentada en nuestro país.

Los objetivos a plantearse durante éste trabajo, son implementar un método de protección catódica basado en recientes investigaciones acerca de nuevos materiales para lograr tal efecto. Una malla compuesta por barras de titanio y cintas anódicas de substrato del mismo material pero con recubrimientos de óxidos metálicos, permitirá proteger el fondo del tanque en el lado del suelo y conseguir polarizar la estructura, tal que sus nuevos valores de potencial se encuentren por encima de 850 mV, valor reconocido internacionalmente como el potencial de protección del acero.

Seguidamente la instalación de ánodos de sacrificio al interior del tanque, seleccionados en función de la agresividad del electrolito, permitirán completar la protección integral al tanque y cuya comprobación será verificada a través de pruebas estipuladas por normas internacionales.

CAPÍTULO 1

1. SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA APLICADOS A TANQUES DE ALMACENAMIENTO

1. 1 Normas Internacionales para sistemas catódicos externos

La corrosión en tanques AST, continúa siendo un problema crítico, no solamente en las industrias de petróleo y afines; además se presenta en cualquier otra industria que almacene productos o materiales altamente corrosivos, en dichos tanques. Es por ello, que se han regulado a nivel internacional métodos de protección siendo uno de lo más importantes el de la protección catódica, que constituye nuestro interés en éste trabajo analizar cada una de las normas que rigen su diseño e instalación.

1 .1. 1 Norma API 651

Siendo la industria del petróleo una de las más importantes a nivel mundial, debido a su importancia a nivel estratégico y económico, el Instituto Americano del Petróleo en sus siglas API, pone a consideración de los ingenieros el problema de la corrosión en tanques concerniente a la producción, transportación, manufactura y los métodos para controlar éste fenómeno natural.

Las normas y prácticas recomendadas por la API, describen directamente la necesidad básica de controlar la corrosión en el fondo, anillos, y techo de tanques asentados por encima de la superficie. Estos documentos muestran la información y requerimientos relacionados a las formas de corrosión que deben ser considerados para nuevos tanques, en su diseño y construcción; y para tanques ya existentes, durante su inspección, mantenimiento y actividades de reparación.

La norma API 653 lista doce causas de corrosión que pueden resultar en una fisura del fondo del tanque, y seis de ellas están directamente relacionadas con la corrosión interna y externa. La norma API 650,

en el diseño de nuevos tanques, contiene recomendaciones específicas para minimizar la corrosión externa y por lo tanto, extender la vida del fondo del tanque.

Una recomendación importante, es la altura de 300 mm que se debe encontrar el fondo del tanque con respecto del suelo natural, logrando de ésta manera reducir la acumulación de agua al interior del anillo de hormigón. Referente a la altura de la capa de arena ésta debe ser de tres o cuatro pulgadas; la arena debe ser limpia, libre de residuos extraños, etc. cuyo propósito final es minimizar futuros problemas de corrosión y además incrementar la efectividad del sistema de protección catódica.

En función del fluido que almacene el tanque la norma API 651 señala la posibilidad de instalar ánodos galvánicos, su ubicación debe ser de tal manera que se distribuyan uniformemente la corriente de protección. Para proteger en contra de la corrosión por el lado del suelo los sistemas de corrientes impresas, son la mejor elección y muestra configuraciones de cómo instalar los ánodos difusores de corriente. Posiciones verticales u horizontales, en ángulos junto con

un relleno conductivo son algunas de las recomendaciones de cómo instalar la protección catódica. La selección del método apropiado de PC está regido por varios puntos mencionados a continuación:

1. Tamaño y número de tanques a proteger.
2. Corriente requerida.
3. Condiciones del suelo, como resistividad, composición química, grado de aireación y pH.
4. Posibilidad de interferencia con estructuras adyacentes.
5. Costo de los equipos de protección catódica, instalación, operación y mantenimiento.

El tipo malla anódica compuesta por titanio – óxidos metálicos cumple con todos los requerimientos exigidos, por la norma API 651, principalmente en su escasa generación de corrientes de interferencia.

1 .1. 2 Norma NACE RP 0193

La norma presenta algunas consideraciones referentes a la protección catódica en el lado del suelo para la protección de fondos de tanques de acero al carbono, y principalmente hace referencia a la selección de corrientes impresas cuando el tanque va a operar a

temperaturas elevadas y si su estructura de soporte es de hormigón, o a su vez una capa de arena asfáltica.

Configuraciones de camas anódicas deben instalarse en forma horizontal, vertical, o en ángulo en el fondo del tanque, dependiendo de los requerimientos de corriente, el tamaño del tanque y los factores medio ambientales. Los ánodos de Nb – Pt y ánodos poliméricos no deben ser usados en ambientes contaminados con hidrocarburos. Finalmente se requiere que distribuciones en forma de espiral o parrilla sean instaladas para lograr una mayor efectividad.

1. 2 Protección Interna mediante ánodos de sacrificio según norma NACE RP 0575.

1. 2. 1 Propiedades de los ánodos galvánicos más utilizados

Los ánodos de sacrificio deben cumplir con las siguientes características:

- ✚ Debe tener un potencial de disolución lo suficientemente negativo, para polarizar la estructura de acero. El potencial

práctico de disolución puede estar comprendido entre -0.95 a -1.7 V.

✚ Corriente suficientemente elevada, por unidad de peso de material consumido.

✚ Buen comportamiento de polarización anódica a través del tiempo

1. 2. 2 Selección de ánodos en función del electrolito

Existen sistemas de ánodos galvánicos indicado para electrolitos de baja resistividad, en general del orden de 1500 Ω -cm para ánodos de Zn y 6000 Ω -cm para ánodos de Mg. En medios de resistividad más alta, su empleo debe estar precedido de un minucioso estudio de todos los parámetros involucrados.

No se recomienda éstos ánodos para proteger estructuras que puedan estar sujetas a corrientes de interferencia, a no ser que estas corrientes tengan intensidades muy bajas. Cabe señalar que con un

sistema de ánodos galvánicos no hay posibilidad de una inversión de la polaridad.

Por otro lado, parece estar bien demostrado que la adición de pequeños porcentajes de Al, de Al y cadmio (Cd), o Al y silicio (Si) al Zn es un recurso útil para contrarrestar los efectos del Fe como impureza. Ello queda reflejado en la nueva especificación MIL-A-18001 G , que permite hasta 0.005% de Fe, pero exige, al mismo tiempo, contenidos de un 0.025 - 0.15% de Cd y 0.10 - 0.50% de Al.

Entre los elementos de aleación utilizados con resultados más o menos satisfactorios, para mejorar el comportamiento general de los ánodos de sacrificio de Zn, figuran principalmente el litio (Li), el cromo (Cr), el Mg, el Al y el Cd. En el cuadro 8 se presentan las calidades de Zn según la especificación B6-46 de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM).

1. 2. 3 Configuraciones utilizadas al instalar ánodos galvánicos

Existen variedad de formas de instalación, y cada una de ellas tienen como objetivo distribuir uniformemente la corriente, considerando que

se debe seleccionar una mayor cantidad de ánodos galvánicos, para una masa anódica total calculada en el documento de diseño.



FIGURA 1.1 ANODOS DE ZINC USADOS PARA PROTECCION
DE AST's

1. 3 Protección Externa por corrientes impresas

Para el diseño de un sistema PC es necesario investigar las características de la estructura a proteger, y del medio corrosivo al que está expuesto. Mediciones de la resistividad eléctrica a fin de evaluar las condiciones de corrosión a que estará sometida la estructura.

1. 3. 1 Aplicaciones de sistemas tradicionales

La chatarra de hierro es una mala técnica del uso de materiales para difundir la corriente en un sistema catódico, porque se consume rápidamente. Los ánodos de grafito no funcionan demasiado bien en agua pues se acelera su consumo por deterioros mecánicos. La permanencia prolongada en el agua los esponja y pulveriza.

El hierro - silicio – cromo es comúnmente empleado cuando entra el cromo en proporciones de 4.5 a 6.5% en su composición. Las aleaciones de plomo con 2% de plata siguen empleándose en la protección exterior de cascos de buques, pero menos cada vez por su gran peso en la protección de estructuras fijas

1. 3. 2 Nuevas Tecnologías en sistemas de protección

Actualmente las instalaciones anódicas buscan una configuración ideal tal que minimice su longitud y sea más asequible a espacios confinados. Los nuevos sistemas de PC poseen las siguientes características:

1. Optimizan la distribución de corriente.

2. Poseen menor resistencia en el lecho anódico.

Nuevos materiales como el Anodeflect ofrecen una manera rápida y efectiva de lograr una adecuada protección de los tanques de almacenamiento, reduciendo el grado de interferencia con otras estructuras y emitiendo una baja tasa de densidad de corriente por unidad de longitud.

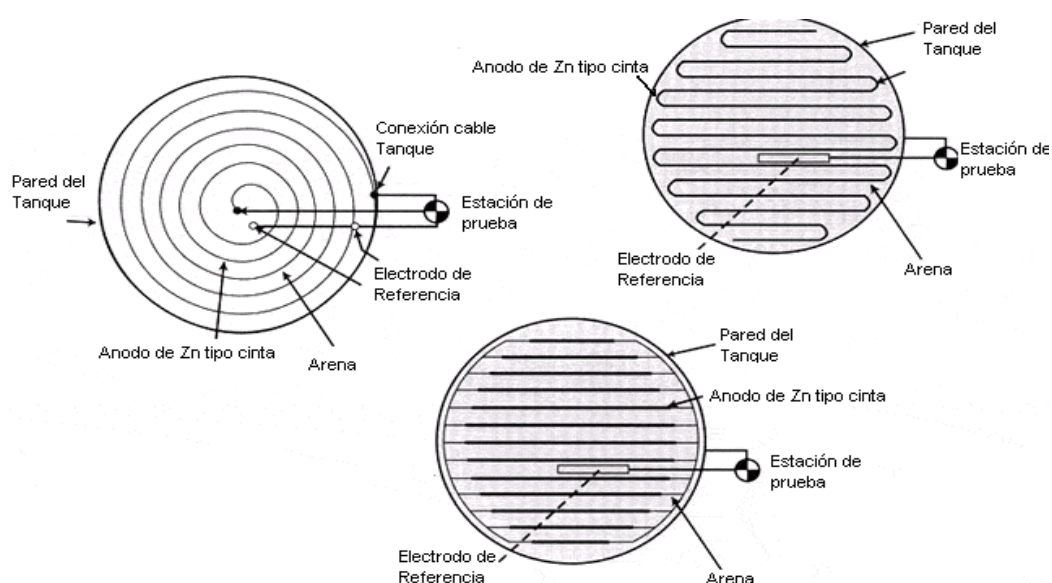


FIGURA 1.2 NUEVAS FORMAS DE INSTALAR SISTEMAS CATODICOS PARA PROTECCION DEL FONDO DEL TANQUE

1. 3. 3 Protección con ánodos Titanio – Óxidos Metálicos tipo Cinta

Los óxidos metálicos algunos como (Rh, Ir, Ta, etc) tienen la habilidad de formar una solución sólida con la película de óxido

sobre una superficie de titanio por ejemplo y ser consecuentemente altamente conductivo. Las nuevas investigaciones desarrollan nuevas variantes electroquímicas tal que ellos permanecen inertes en todos los ambientes corrosivos suelo, agua, etc. Una ventaja del titanio como material base es que si existe algún fisuramiento o desprendimiento de la capa conductiva el titanio reacciona con su película pasiva de óxido de titanio impidiendo de ésta manera su deterioro.

La alta tasa de distribución de la corriente desde el ánodo la realiza a través de su superficie gracias a su recubrimiento altamente conductivo. Este sistema de cintas anódicas presenta como principal ventaja es su alto tiempo de vida útil; mencionando como desventaja sus conexiones por medio de soldadura que para tanques de gran capacidad se requiere de muchos de puntos a ser soldados

1. 3. 4 Proceso de soldadura por resistencia RSW aplicado al Titanio

La soldadura del titanio a través de éste proceso de soldadura, es originada por la alta resistividad y baja conductividad térmica del

material, entonces al fluir la corriente a través de la junta existe una fusión localizada con una baja distorsión y presenta como desventaja que tiene poca resistencia a la fatiga. Para la construcción de la malla anódica, vamos a tener tres tipos diferentes de juntas, sus datos de operación son mencionados en la siguiente tabla:

TABLA 1.1 CUADRO DE PARAMETROS UTILIZADOS AL
SOLDAR TITANIO - MMO

Parámetros para Soldadura de punto: Ti - MMO			
Variables	Junta		
	Ti - Ti	Ti - MMO	MMO - MMO
Espesor de la junta (mm)	2	1,64	1,28
Tiempo de soldadura (ms)	150	100	50
Tiempo de retención (s)	5	3	3
*Fuerza del electrodo (Lb)	1500	1300	500
*Resistencia a la tensión (Lb)	1850	1000	600
*Resistencia al esfuerzo cortante (Lb)	6200	4500	1500
Diámetro de la soldadura (mm)	4	3	2,5

Se ha utilizado para aquello una soldadora portátil RSW, que puede soldar hasta un espesor máximo de 4.7 mm siendo el material acero al carbono, con un amperaje máximo de 5000 A.

* Datos aproximados obtenidos en Laboratorios del fabricante



FIGURA 1.3 UNIÓN DE LA PLATINA DE TITANIO CON BARRA CONDUCTORA, MEDIANTE 5 PUNTOS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA

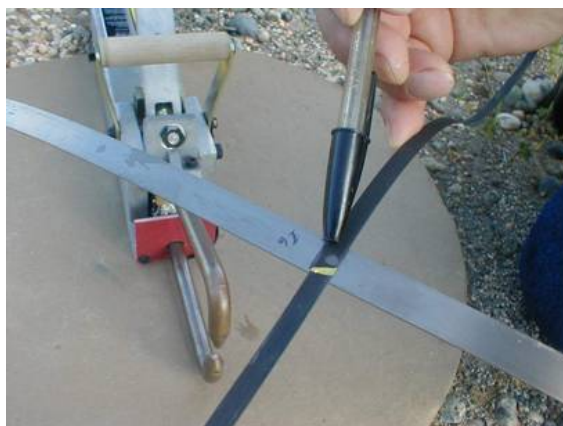


FIGURA 1.4 PUNTO DE SOLDADURA ENTRE BARRA DE TITANIO Y CINTA ANÓDICA UTILIZANDO LA SOLDADORA PORTATIL RSW.

1. 4 Ventajas de los ánodos Titanio – Óxidos Metálicos con respecto a los tradicionales

Existen una gran variedad de materiales empleados para actuar como difusores de la corriente; entre éstos tenemos los Fe – Si –Cr, grafito y los materiales nobles para lograr tal efecto, en la tabla 1.2 se muestran algunas de las propiedades más importantes, de los ánodos mas comerciales.

Estas propiedades permiten seleccionar los ánodos más adecuados a la hora de instalar un sistema de protección catódica por corrientes impresas. Generalmente los ánodos Fe-Si-Cr es aconsejable su uso en terrenos de resistividad elevada y rodeado de un relleno artificial constituido por coke.

TABLA 1.2 PROPIEDADES DE LOS ANODOS MAS UTILIZADOS EN SISTEMAS CATODICOS POR CORRIENTES IMPRESAS

Material	Densidad (g / cm ³)	Recubrimiento	Densidad de corriente		Pérdida (mg / A año)
			Máxima (A / m ²)	Promedio (A / m ²)	
Titanio	15	Oxidos Metálicos MMO	>10 ³	500	10
Fe - Si - Cr	7,0 a 7,2	-	300	10 a 50	90000 - 250000
Grafito	1,6 a 2,1	-	50 a 150	10 a 50	300000 - 1E06

CAPÍTULO 2

1. DISEÑO DEL SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCION CATODICA

2. 1 Datos preliminares para el diseño.

La compañía petrolera construirá un nuevo tanque de almacenamiento de 28.82 m de diámetro a ser construido sobre una cama de arena, y que almacenará agua de producción, por lo que es necesario tratar en éste capítulo el diseño del sistema de protección catódica externa basado en el método seleccionado anteriormente.

Debido a que el tanque estará construido sobre un lecho de arena fina, se conoce que el valor de resistividad varía entre 30000 – 50000 Ω cm, vamos a asumir el valor de 35000 Ω - cm. Aunque la resistividad de la arena puede ser mayor, este valor anticipa el caso de que la arena a utilizar en el momento de la instalación se encuentre con otros agentes que podrían un incremento en la velocidad de corrosión en la superficie externa del fondo del tanque.

Según las especificaciones de los materiales a emplearse, se tiene previsto para el diseño del Sistema de protección catódica una vida estimada de alrededor de 50 años. Los planos entregados por la propietaria del tanque, muestran que existirá una distancia de 500 mm entre el fondo del tanque y el suelo natural compactado, valor que nos servirá para determinar la ubicación más conveniente el lecho anódico.

Para la malla estará compuesta por barras de titanio y se ha considerado utilizar los ánodos tipo cinta de Titanio – Oxidos metálicos debido a su alto drenaje y distribución uniforme de la corriente. Su capacidad de suministrar de corrientes es del orden de 0.042 A/m. Finalmente tenemos que considerar los criterios de PC, para comprobar

que se ha modificado el potencial natural del acero, hasta un valor por encima de 850 mV con respecto a una celda de referencia de Cobre – Sulfato de Cobre, pero no mayor a 1500 mV.

2. 2 Diseño del sistema catódico para la protección externa

Primeramente necesitamos definir el área a proteger, definiendo como zona crítica la superficie del fondo del tanque, cuyo valor se calcula de la siguiente manera:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$A = 0.25\pi(28.82m)^2$$

$$A = 652.29m^2$$

2. 2. 1 Requerimientos de Corriente

Con el dato de la resistividad del suelo, procedemos a determinar la densidad de corriente del tanque de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Dc_T = 13.35 \log \left(\frac{10^{5.523}}{\rho} \right)$$

$$Dc_T = 13.35 \log \left(\frac{10^{5.523}}{35000 \Omega.cm} \right)$$

$$D_{CT} = 13.07 \text{ mA/m}^2$$

El tanque estará construido sobre una capa compactada de terreno natural, por lo que el sistema anódico deberá estar ubicado por encima de una capa de 50 mm de arena fina al interior del anillo de hormigón. Se ha considerado que la parte externa no estará pintada, por lo tanto la eficiencia del revestimiento es igual a cero, a partir de éstos datos procedemos a obtener la demanda de corriente de la estructura y corriente de PC, con las siguientes expresiones:

$$Dc_R = Dc_T$$

$$D_{CR} = 13.07 \text{ mA/m}^2$$

El siguiente paso es hallar la corriente DC de protección catódica, para lograr polarizar la estructura, mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$I_{PC} = A \times Dc_R$$

$$I_{PC} = 652.29 \text{ m}^2 \times 13.07 \text{ mA/m}^2$$

$$I_{PC} = 8.52 \text{ A}$$

2. 2. 2 Determinación de la longitud efectiva del ánodo Titanio – Óxidos

Metálicos tipo cinta.

Antes de proceder al cálculo de las longitudes efectiva y real de las cintas anódicas, es necesario conocer sus dimensiones que se dan a continuación:

Ancho: 6.35 mm.

Espesor: 0.635 mm

Area: 0.014 m²/m

La longitud efectiva de la cinta anódica debe ser capaz de transportar los 8.52 A sin afectar su vida útil de 50 años. Existen dos ecuaciones para hallar ésta incógnita, la primera es la más completa ya que considera las características técnicas del material empleado en la cinta anódica, generalmente es suministrada por el fabricante, y se detalla a continuación:

$$L_{req} = \frac{I_{pc} * C_r * t}{M_l} \quad (1)$$

Donde:

I_{PC} = Corriente de PC (A)

C_r = Tasa de consumo del ánodo (Kg/ A. año)

t = La vida útil del sistema catódico (años)

M_l = Masa por unidad de longitud (kg / m)

La segunda ecuación es utilizada mayormente, siendo recomendada por normas NACE cuando se diseña sistemas catódicos externos utilizando una malla anódica; así mismo se detalla a continuación:

$$L_{req} = \frac{I_{PC}}{C_a} \quad (2)$$

Donde:

L_{req} = Es la longitud total mínima requerida de cinta anódica (m).

C_a = Capacidad de suministro de corriente por unidad de longitud
(A / m).

Vamos a considerar el uso de la ecuación (2), por su efectividad y rapidez de cálculo, y además porque no se posee todos los datos para utilizar la ecuación (1), lo cual obtenemos lo siguiente:

$$L_{req} = \frac{I_{PC}}{C_a}$$

$$L_{req} = \frac{8.52A}{0.042 A/m} = 202.94m$$

Este valor de longitud es la mínima necesaria para distribuir la corriente DC de protección, y será comparada más adelante con la longitud real de instalación.

Para obtener la longitud real de ánodos tipo cinta, a instalarse dentro del anillo de hormigón, es necesario conocer la cobertura que realiza cada una de las cintas anódicas hacia una sección del fondo del tanque. Para ello, se conoce por investigaciones desarrolladas por fabricantes de materiales y equipos de PC, que la distribución de corriente desde éstos tipos de ánodos se la realiza a un ángulo de 120° , entre la cinta y el fondo del tanque; con lo cual a partir del modelo trigonométrico presentado en la figura 2.1 se logra encontrar la zona de cobertura de cada cinta anódica. La ecuación a utilizarse es la siguiente:

$$S = 2h \tan 60^\circ$$

$$S_{m\acute{a}x} = 2 \times 0.45\text{m} \times \tan 60^\circ$$

$$S_{m\acute{a}x} = 1.6\text{m}$$

Conociendo que se dispondrá en el lugar de trabajo, una altura de la base de hormigón de 0.5 m por encima del suelo natural compactado,

se colocará una capa de arena fina de 5 cm, para evitar así el contacto directo entre la malla de ánodos y el suelo compactado, esto es para evitar atenuación de la corriente a estar en suelos de baja resistividad; finalmente la malla estará a una altura de 0.45 m medido desde el fondo del tanque.

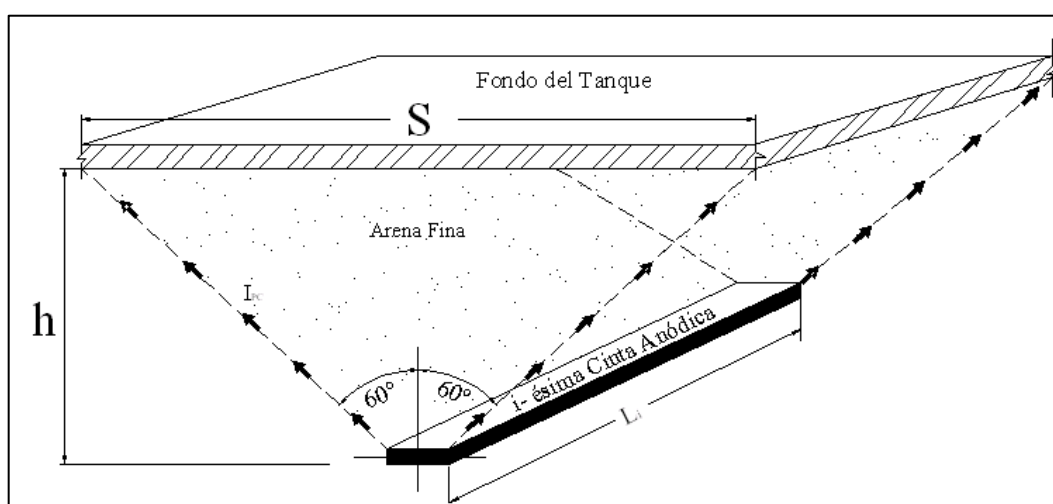


FIGURA 2.1 MODELO DE COBERTURA DESDE UNA CINTA ANÓDICA HACIA UNA SECCION DEL FONDO DEL TANQUE

Para el diseño, se asumirá una separación máxima de 1.5 metros entre cada ánodo, considerando que el espaciamiento máximo debe estar por debajo de los 1.6 m calculados anteriormente; a continuación calcularemos la longitud total del ánodo tipo cinta, mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{D}{s} = \frac{28.82}{1.5} \approx 19 \text{ ánodos}$$

Entonces para una malla a ser formada con 19 ánodos distribuidos uniformemente, es necesario hallar las longitudes de cada una de ellas, considerando la geometría simétrica que se da en el fondo del tanque, a partir de una manipulación del Teorema de Pitágoras, vamos a definir cada una de las ecuaciones a ser utilizadas.

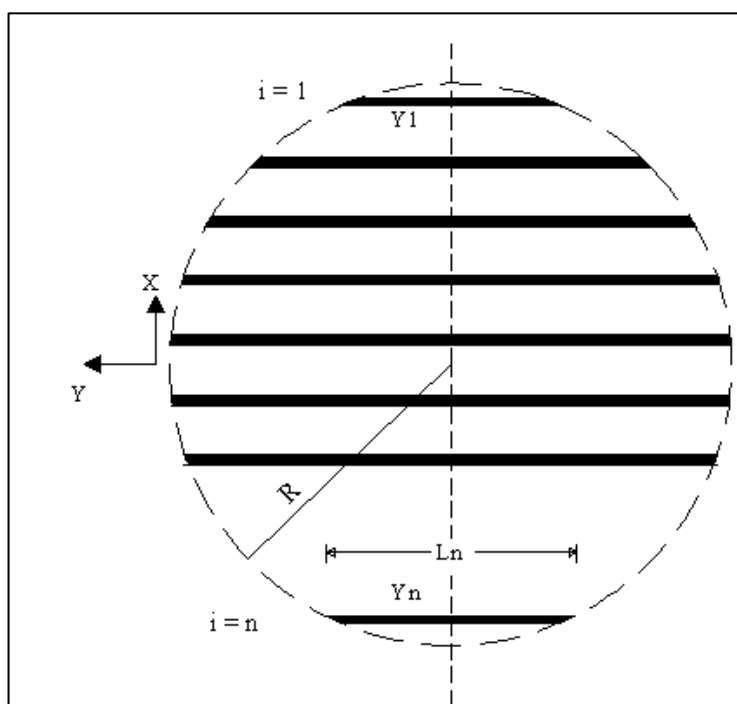


FIGURA 2.2 DISTRIBUCIÓN DE LAS CINTAS ANODICAS EN EL FONDO DEL TANQUE

Definiendo la longitud de cada ánodo en función de la gráfica anterior, medimos desde el centro hacia uno de los lados del tanque, a partir de la siguiente ecuación:

$$y = \sqrt{(R^2 - x^2)}$$

Donde:

X = Es la distancia desde el centro del tanque (m).

Y = Es la longitud media del ánodo X (m).

R = Es el radio del tanque (14.41 m).

TABLA 2.1 LONGITUDES DE LOS ANODOS TIPO CINTA

i	X (m)	Y (m)
D	0	14.11
2	1.5	14.03
3	3.0	13.79
4	4.5	13.37
5	6.0	12.77
6	7.5	11.95
7	9.0	10.87
8	10.5	9.42
9	12.0	7.42
10	13.5	4.1

La longitud total de cinta a utilizarse para en la instalación se la calcula a partir de la siguiente expresión:

$$L_T = 2D \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{i-0.5}{n} - \left(\frac{i-0.5}{n}\right)^2}$$

$$L_T = 2 \times 28.82m \times \sum_{i=1}^{19} \sqrt{\frac{i-0.5}{19} - \left(\frac{i-0.5}{19}\right)^2}$$

$$L_T = 111.83m$$

La cinta anódica central está formada por dos cuadrantes, entonces la longitud real de instalación, para proveer una adecuada protección al fondo del tanque es:

$$L_R = 4 \times (111.83 - 14.11) + 2 \times 14.11 = 419.12 \text{ m}$$

Donde se cumple que la longitud requerida o real, es menor que la longitud mínima, garantizando una excelente distribución de corriente hacia el fondo del tanque, quedando finalmente el sistema catódico externo compuesto por un total de 19 ánodos.

2. 2. 3 Análisis diferencial para determinar la resistencia de la malla anódica.

Siempre en el diseño de un sistema de protección catódica, va asociado el cálculo de la resistencia total del sistema; requerido para evaluar el voltaje necesario y el potencial estructura – ánodo.

La resistencia estructura – electrolito es comúnmente despreciada debido a su pequeño valor comparado con la resistencia de la cama anódica.

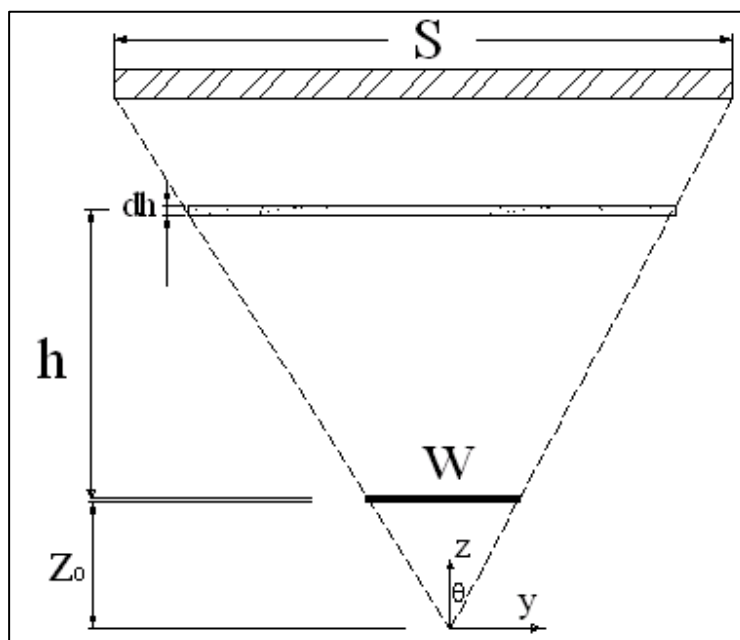


FIGURA 2.3 SISTEMA DE COORDENADAS PARA HALLAR RESISTENCIA ANODO – TANQUE

En ésta sección hallaremos la resistencia propia de la cinta, despreciando los efectos de interferencia mutua entre ellas, usando el modelo de distribución de corriente presentado en la figura 2.3, tomamos una capa diferencial de arena con espesor dh a una altura h , medidos desde un punto central imaginario situado en la parte inferior de una cinta anódica en particular, entonces planteamos la siguiente ecuación en forma diferencial.

$$dR = \frac{\rho dh}{dA}$$

$$dR = \frac{\rho dh}{2L_i h \tan \theta}$$

$$R_C = \frac{\rho}{2L_i \tan \theta} \int_{0.5w/\tan \theta}^{h+0.5w/\tan \theta} \frac{dh}{h}$$

$$R_C = \frac{\rho}{2L_i (\tan \theta)} \ln \left(\frac{2h \tan \theta}{w} \right)$$

Según la geometría expuesta en el modelo de distribución de corriente, tenemos que:

$$\tan \theta = \frac{S - w}{2h}$$

La resistencia total entre el fondo del tanque y la malla de ánodos paralelos es:

$$R^{-1} = \sum_{i=1}^{19} R_i$$

$$R_2 = \frac{\rho h}{L_T (S - w)} \ln\left(\frac{S}{w}\right)$$

2. 2. 4 Cálculo de la resistencia total del sistema catódico

A continuación se procede a calcular la resistencia eléctrica del sistema catódico externo, por medio de dos ecuaciones. La primera de ellas es la ecuación modificada de Dwight's para el cálculo de resistencia del lecho anódico.

$$R_1 = \frac{0.005\rho}{\pi L} \left(\ln\left(\frac{4L}{d}\right) + \ln\left(\frac{L}{h}\right) - 2 + \frac{2h}{L} \right)$$

Los parámetros que utiliza esta ecuación son los siguientes:

ρ = Resistividad del relleno dentro del anillo de hormigón

L = Longitud total del ánodo utilizado

d = Diámetro equivalente respecto al ancho del ánodo de cinta

aproximadamente $(1.4 / \pi = 0.0045 \text{ m})$

h = Separación entre el ánodo de cinta hacia el tanque

$$R_1 = \frac{0.005 \times 35000}{\pi \times 419.12} \left(\ln \left(\frac{4 \times 419.12}{0.0045} \right) + \ln \left(\frac{419.12}{0.45} \right) - 2 + \frac{2 \times 0.45}{419.12} \right)$$

$$R_1 = 2.34 \Omega$$

La segunda ecuación es utilizada para encontrar la resistencia propia del ánodo

$$R_2 = \frac{\rho}{2L \tan \theta} \ln \left(\frac{2D \tan \theta}{w} \right)$$

Los parámetros que utiliza esta ecuación son los siguientes:

ρ = Resistividad del relleno dentro de la anillo de hormigón

L = Longitud total del ánodo utilizado

D = diámetro del tanque

w = ancho de la cinta anódica

θ = Ángulo de distribución de corriente del ánodo

$$R_2 = \frac{\rho}{2L \tan \theta} \ln \left(\frac{2D \tan \theta}{w} \right)$$

$$R_2 = \frac{35000 \Omega \cdot cm}{2 \times 41912 cm \times \tan 60^\circ} \ln \left(\frac{2 \times 28.82 m \times \tan 60^\circ}{6.35 E - 03} \right)$$

$$R_2 = 2.32 \Omega$$

Calculada ambas resistencias se obtiene un promedio entre ambas y el resultado es dividido para el número de cintas anódicas a utilizar.

$$R_{TOTAL} = \frac{R_1 + R_2}{2n}$$

$$R_{TOTAL} = \left(\frac{2.34 + 2.32}{2 * 19} \right)$$

$$R_{TOTAL} = 0.12 \Omega$$

Para el cálculo se asumió que el fondo del tanque en su parte externa no va a estar pintado, por lo que de acuerdo a recomendaciones de la NACE internacional, al valor de resistencia obtenido se lo deberá multiplicar por un factor de seguridad de 3 como mínimo, a fin de prever algún cambio en la composición del lecho de arena del fondo del tanque durante el tiempo de servicio.

La resistencia total del sistema obtenido se presenta a continuación:

$$R_{Total} = 0.36 \, \Omega$$

Cálculos de longitudes para barras distribuidoras de titanio

Las barras de titanio a colocarse en la malla, soldadas mediante soldadura por resistencia cumplirán dos funciones que son: distribuir la corriente a cada una de las cintas anódicas, y dar un mayor grado de rigidez a la malla anódica, según su ubicación las barras de titanio se llamarán distribuidoras y conductoras, siendo en total cuatro y uno respectivamente. Para tal efecto, es necesario calcular la longitud total de la barras de titanio a utilizarse, las características técnicas son las siguientes:

MATERIAL: Titanio ASTM Gr1

DIMENSIONES: 12.7 mm x 1 mm.

Considerando la geometría que se tiene con respecto al fondo del tanque, y aplicando nuevamente el teorema de Pitágoras tenemos, las barras de distribución estarán colocadas cada 5.64 metros por lo que

será necesario utilizar 4 unidades, la barra conductora se unirá a las cuatro barras distribuidoras. Bajo esa consideración, la longitud total de la barra de titanio es:

TABLA 2.2 LONGITUDES DE LAS BARRAS DE TITANIO

Nº	X (m)	Y (m)
1,2	2.82	13.82
3,4	8.46	11.29
TOTAL:		25.12

Por tanto, podemos ahora calcular la longitud total a instalarse en la malla, a partir de la siguiente relación:

$$L = 4 \times 25.12 + 3 \times 5.64 = 117.4 \text{ m}$$

2. 2. 5 Dimensionamiento y selección del rectificador

La capacidad máxima del rectificador a utilizar en el sistema de protección catódico externo, se la obtiene a través de la Ley de Ohm:

$$E = IR = 15.0 \times 4 = 60.0 \text{ V}$$

Conociendo que el voltaje máximo es de 60 VDC, valor sobredimensionado para vencer los posibles factores que modifiquen las condiciones del terreno, puntos de resistencia desconocidos de las conexiones eléctricas.

Según las condiciones climáticas del oriente ecuatoriano y del nivel de peligrosidad en el sitio donde estará ubicado el tanque, se ha considerado un transformador rectificador con carcasa de acero inoxidable a prueba de agua con codificación NEMA 4X, con alimentación trifásica de 480 VAC, 60 Hz, y una salida de 15 ADC/ 60 VDC. La salida de 60 VDC se ha considerado en caso de existir un incremento en la infraestructura del sector. El rectificador será enfriado por aceite dieléctrico y estará instalado fuera del dique de contención del tanque.

2. 3 Diseño del Sistema Catódico para la protección interna

El agua de producción que almacenará el tanque, tiene elementos químicos y altas concentraciones de sales, que la convierten en altamente corrosiva para el acero sin protección, y es por ello que el objetivo de ésta sección es implementar un sistema eficaz de protección contra la corrosión al interior del tanque.

2. 3. 1 Consideraciones previas al diseño

Se conoce que el agua de proceso es altamente corrosiva debido a su baja resistividad y elementos presentes en su composición química, por lo que para este diseño se ha considerado un valor de resistividad igual a $100 \Omega\text{-cm}$; el tanque posee una temperatura de operación de 80°C . Se tiene previsto en el diseño del Sistema de protección catódica, que la protección al interior del tanque tenga una vida útil de 10 años.

Densidad de Corriente

Con el dato de la resistividad del agua de proceso, se procede a determinar la densidad de corriente del tanque de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Dc_T = 13.35 \log \left(\frac{10^{5.523}}{\rho} \right)$$

$$Dc_T = 13.35 \log \left(\frac{10^{5.523}}{100 \Omega \times cm} \right)$$

$$D_{CT} = 47.03 \frac{mA}{m^2}$$

El interior del tanque estará pintado y debido a que el sistema de pintura a ser aplicado es nuevo, se ha asumido una eficiencia del revestimiento del 90% para cubrir cualquier pequeño defecto en la aplicación de dicho sistema:

$$Dc_R = Dc_T (1 - e)$$

$$D_{CR} = 47.03 \times (1 - 0.90)$$

$$D_{CR} = 4.703 \frac{mA}{m^2}$$

$$I = A \times Dc_R$$

$$I = 652.29 m^2 \times 4.703 \frac{mA}{m^2}$$

$$I = 4.29 A$$

2. 3. 2 Cálculo de la masa anódica

Como la corriente que se necesita para la protección catódica es menor a 5 amperios, es conveniente utilizar ánodos de sacrificio. Para el tanque se han seleccionado ánodos de 42.2 lbs. de aleación de aluminio y el consumo de este tipo de ánodos esta alrededor de 910 Amp-hr/lb, valor con el cual se determinará la masa total anódica requerida, para ser instalada al interior del tanque, y que cumpla con los requisitos de protección catódica y una vida estimada de 10 años; la siguiente expresión muestra el cálculo de la masa anódica:

$$M = \frac{8760 \times V \times I}{0.85 \times C}$$

$$M = \frac{8760 \times 10 \times 4.29}{0.85 \times 910}$$

$$M = 485.84lb$$

2. 3. 3 Determinación del número y tipo de ánodos

Utilizando la siguiente expresión, podemos hallar el número de ánodos de sacrificio a ser instalado, conociendo su peso unitario.

$$n = \frac{M}{m}$$

$$n = \frac{485.94lb}{42.2lb}$$

$$n = 11.51 \approx 12 \text{ ánodos}$$

Por consiguiente, la cantidad de ánodos de sacrificio a emplear dentro del tanque de almacenamiento es de 12.

Se ha considerado utilizar ánodos de Aluminio tipo GALVALUM III, por su alta capacidad de descarga de corriente, mayores potenciales con respecto a las aleaciones de Zinc, y no es susceptible a la corrosión intergranular a elevadas temperaturas de soluciones con alta concentración de sales como es el agua de producción que almacenará el tanque, los ánodos poseen la siguiente composición química:

TABLA 2.3 COMPOSICION QUÍMICA DE LOS ANODOS

GALVALUM

Zn (%)	Si (%)	Hg (%)	In (%)	Al (%)
2.8-3.5	0.08-0.2	-	0.01-0.02	96.28-97.11

CAPÍTULO 3

3. INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA PROPUESTO

3.1 Procedimiento de Instalación del Sistema Externo de Protección.

Para la ejecución de los trabajos de instalación, se ha tenido que realizar un viaje al sitio de obra, para desarrollar las siguientes actividades.

- I. Corte de las cintas de titanio y las de óxidos metálicos (ánodos), según longitudes definidas en el diseño del SPC Externo.

- II. Proceso de soldadura por resistencia en las cintas de titanio para construcción de la malla anódica.
- III. Puesta en sitio y pruebas de continuidad en la malla.
- IV. Colocación del electrodo de referencia.
- V. Conexiones eléctricas a la malla.

Para garantizar un correcto funcionamiento del sistema de protección catódica, es necesario instalar un electrodo de referencia de Cu/CuSO_4 para servicio enterrado en el centro del tanque con su respectiva estación de medición de potencial eléctrico.



FIGURA 3.1 ELECTRODO DE REFERENCIA PERMANENTE Cu/CuSO_4
JUNTO CON SU TUBO RÍGIDO GALVANIZADO

En la instalación del sistema de protección, se instaló una tubería de venteo y otra de irrigación, las cuales servirán para mantener la eficiencia del electrodo de referencia y eliminar el exceso de posibles vapores producidos por las reacciones químicas durante el funcionamiento de la protección catódica respectivamente.

Las uniones eléctricas entre el cable positivo AWG # 6 proveniente del rectificador, y la barra de conducción de Titanio debajo del fondo del tanque, será realizada por medio de unión mecánica utilizando empalme tubular., como se muestra en la figura 3.2. Además para garantizar la hermeticidad de las uniones es necesario protegerlas con resina epóxica.



FIGURA 3.2 ENCAPSULACIÓN EPÓXICA EN CONEXIONES ELECTRICAS

Las uniones entre las barras de conducción y los ánodos de titanio serán ejecutadas por medio de Soldadura de punto tipo RSW.

El cable negativo AWG # 6 proveniente del rectificador y el cable negativo AWG # 12 proveniente de la estación de medición se conectaron a la estructura por medio de una platina metálica soldada a la superficie del mismo.

DESCRIPCION DEL SPC EXTERNO

El método de protección utilizado para el fondo del tanque, es por corrientes impresas utilizando para el efecto una estructura tipo malla compuesta por barras de titanio y cintas anódicas con recubrimiento de óxidos metálicos. A continuación se detalla los elementos que conforman la malla anódica:

1. Existen 19 cintas anódicas distribuidas en forma paralela, separadas cada una de ellas a una distancia de 1.5 m. Las dimensiones de las cintas anódicas se detallan en el documento de diseño respectivo.
2. Cuatro barras de titanio, separadas entre ellas a 5.64 m que actúan como distribuidoras de corriente, su ubicación es a 90°

con respecto a las cintas anódicas. Las dimensiones de estas barras se detallan igualmente en el documento de diseño.

3. Dos barras adicionales de titanio conectado a 90° con respecto a las barras distribuidoras de corriente, las cuales ayudan a dar mayor rigidez a la malla en su parte superior, sin afectar su continuidad eléctrica. Ambas poseen igual longitud de 5.64 m.
4. Un electrodo de referencia permanente Cu/CuSO₄, ubicado en el centro debajo del fondo del tanque, para monitoreo de potenciales en dicha zona.
5. Una barra conductora de titanio de longitud 17m, donde existe dos conexiones eléctricas, que mas adelante se unen en una sola derivación para después llegar al terminal positivo del transformador – rectificador. Adicionalmente une a las cuatro barras distribuidoras de titanio.
6. La fuente de poder es un transformador – rectificador enfriado en aceite. Entrada 480 VAC 3Ph, 60Hz. Salida 60 VDC / 15 ADC, ubicado en la parte exterior del cubeto del tanque.
7. Los cables de alimentación hacia la malla son del tipo HMPEW # 6, las conexiones a tierra para medición de potenciales son del tipo THHN # 14.



FIGURA 3.3 INSTALACIÓN FINAL DE LA MALLA ANÓDICA EN EL FONDO DEL TANQUE

3. 2 Procedimiento de Instalación del Sistema Interno de Protección

Un segundo viaje fue realizado a las instalaciones de la compañía petrolera para realizar los trabajos de instalación del sistema catódico interno, ejecutándose las siguientes labores:

- I. Acometidas eléctricas del transformador – rectificador, hacia la malla anódica.

- II. Instalación del soporte metálico tipo G, para la estación de prueba, utilizada para medir potenciales de polarización por debajo del fondo del tanque.
- III. Protocolos de operabilidad de materiales y equipos.
- IV. Encendido del sistema catódico externo, y medición de potenciales de polarización en el tanque.
- V. Realización de pruebas de interferencia al tanque, para verificar la existencia de corrientes parásitas.

DESCRIPCION DEL SPC INTERNO

El sistema está constituido por 12 ánodos galvánicos de 42.2 lb cada uno, montados sobre perfiles metálicos y unidos a ellos mediante pernos de acero.

La configuración utilizada para la instalación de los ánodos consta de dos anillos, en el cual el primero está separado a una distancia radial desde el centro del tanque a 4.5 m, el cual posee 8 ánodos espaciados entre sí a 45°; el segundo anillo posee 3 ánodos distanciados desde el centro a 10.5 m, su separación entre sí es 120°, finalmente el último ánodo se ubicó en la zona central del tanque, distanciando a 1 m de la columna principal de soporte del techo.



FIGURA 3.4 UBICACION FINAL DE LOS ANODOS GALVALUM III AL INTERIOR DEL TANQUE

Instalación de cables

La compañía contratista realizó variantes en la ubicación del tramo de tubería por donde salen los cables hacia la estación de prueba y transformador - rectificador; siendo éstos cables del tipo HMWPE con calibre de # 6 y # 12; todas éstas variantes se señalan en los planos anexados en este informe.

Para asegurar la integridad de los cables en el tramo Tanque – Rectificador todos los cables fueron instalados dentro de una tubería flexible de 6 pulg. del tipo polietileno. Los cables fueron enterrados a

60 cm debajo del nivel del suelo, dentro de la tubería flexible que está enterrada en el suelo natural del cubeto

Instalación del rectificador

El rectificador es enfriado por aceite dieléctrico en una cantidad de 55 galones, y está instalado fuera del cubeto del tanque, por encima de una loseta ubicada al frente de la puerta de limpieza del tanque



FIGURA 3.5 PUESTA EN SITIO DEL TRANSFORMADOR –
RECTIFICADOR Y DEL POSTE CON LA ESTACIÓN DE PRUEBA
TIPO GUAT 26 ANTIPROOF

3.3 Protocolos de operabilidad de materiales y equipos

Para asegurar la calidad de los materiales e idoneidad de los equipos se cumplieron ciertas pruebas que se muestran a continuación:

TABLA 3.1 DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA EN VACIO DEL TRANSFORMADOR - RECTIFICADOR

Prueba en vacío del transformador - rectificador			
Equipo:	Universal Rectifiers		
Voltaje DC:	60	DC Amp:	15
AC Voltaje:	230/460	# Fases:	3
TAPS		Voltaje (V _{DC})	
COARSE	FINE		
1	1	3,94	
	2	8,43	
	3	11,95	
	4	17,48	
	5	22,02	
	6	26,53	
2	1	31,06	
	2	35,58	
	3	40,12	
	4	44,65	
	5	49,26	
	6	53,8	
3	1	58,24	
	2	62,72	
	3	-	
	4	-	
	5	-	

TABLA 3.2 DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA CON CARGA DEL
TRANSFORMADOR - RECTIFICADOR

TAPS		Voltaje (V)	Amperaje (A)	Ref. Electrodo (mV)
COARSE	FINE			
1	1	2,82	3,2	1484
	2	6,4	14,7	2300

A partir de las pruebas realizadas al tanque, los datos obtenidos muestran un comportamiento normal al momento de encender el rectificador, referente a la prueba con carga queda fijado el COARSE 1 FINE 1, debido a que al aumentar el nivel de los selectores el amperaje sobrepasa a un valor por encima del máximo permitido por el equipo.

Prueba de Potenciales Naturales de los Anodos Galvalum III.

Se ha utilizado para el efecto un recipiente con agua dulce, en donde se sumergirán uno por uno los doce ánodos, para monitorear su potencial natural activo, esto es para comprobar la capacidad de protección al acoplarse a la estructura.

TABLA 3.3 VALORES DE POTENCIALES NATURALES DE LOS ANODOS GALVANICOS

Anodos N^a	Voltaje (mV)
1	1130
2	1194
3	1169
4	1065
5	1322
6	991
7	1201
8	1020
9	1106
10	1243
11	1314
12	1270

3. 4 Puesta en marcha del sistema de protección

Se ha considerado los aspectos de instalación, de acuerdo a los procedimientos y planos de diseño realizados en ésta tesis.

Procedimiento de Puesta en Servicio.

Una vez culminado los trabajos de instalación, conexiones eléctricas y montaje integral del tanque, se procederá a las siguientes actividades:

- o Medición de los potenciales naturales del tanque, en los mismos puntos en donde se realizará el monitoreo trimestral, cabe recalcar que éstas mediciones se harán antes de encender el rectificador.
- o Medición de los parámetros de entrada y salida del rectificador (prueba en vacío), y la verificación de la instrumentación del rectificador.
- o Una vez que haya encendido el rectificador, se procederá a medir los potenciales de polarización, registrando la hora y fecha, en base a la posición de los reguladores COARSE Y FINE.
- o Si no se ha alcanzado el potencial requerido de acuerdo a los criterios de la NACE, se procederá a incrementar el # en los selectores COARSE y FINE en un lapso de media hora después de cada incremento de corriente. Una vez que se alcance el potencial requerido se dejará en esa posición por un lapso de 24 horas, para comprobar el funcionamiento del sistema catódico externo.
- o En caso de existir SPC aledaños al tanque, es necesario verificar el efecto de dichos sistemas a los valores de potencial de polarización, comprobación que puede ser hecha por medio de pruebas de interferencia.

3. 4. 1 Aplicación del criterio de los 100 mV

Es necesario por recomendaciones de la norma NACE RP 0193 obtener un mínimo de 100 mV de polarización entre la superficie de acero del fondo del tanque y un electrodo de referencia estable en contacto con el electrolito. Este voltaje de polarización es obtenido interrumpiendo la corriente y medir el decaimiento de la polarización, cuando la corriente se activa un nuevo valor de voltaje debe ser medido, verificando que ese decaimiento debe ser mayor a 100 mV. Dicha prueba fue realizada antes y después de desconectar los otros dos rectificadores de los sistemas catódicos aledaños.

3. 4. 2 Procedimiento para pruebas de polarización

SPC Externo

Un día antes de iniciar el proceso de monitoreo de potenciales, es necesario ingresar un galón de agua en la toma de ingreso de la tubería de irrigación que posee el tanque. Con ello se asegura una buena conductividad en el medio circundante al electrodo de referencia y sus lecturas posean una buena confiabilidad.



FIGURA 3.6 MEDICION DEL POTENCIAL DE POLARIZACION
EN EL CENTRO DEL FONDO DEL TANQUE

Abrir la tapa registro de la caja GUAT 26 antiproof, conectar los terminales del multímetro en cada una de las dos conexiones encontradas en dicha caja. Verificar las lecturas del voltaje y amperaje de salida del transformador – rectificador, a través de los medidores encontrados en dicho equipo.

Utilizando un electrodo portátil de Cu/CuSO_4 conectado en exteriores del tanque, y un multímetro registrar lecturas de

potencial de protección en cuatro puntos del tanque cada uno separados 90°. Como referencia se puede tomara lecturas en los siguientes sectores:

- a. Manhole principal ubicado por encima de la toma a tierra del SPC.
- b. Tubería de Venteo.
- c. Tubería de Irrigación, ubicado a 180° con respecto a la toma a tierra del SPC.
- d. Línea de ingreso de 24 pulg. para ingreso del agua de proceso.

SPC Interno

La prueba consiste medir en **3** posiciones al interior del tanque, antes que éste entre en operación completamente, y se deberá regir en base al siguiente procedimiento:

- Al día anterior a la prueba, se debe sumergir en agua dulce el electrodo portátil Ag/AgCl, esto es de suma

importancia para lograr lecturas confiables durante la prueba.

- La temperatura del medio acuoso (agua de proceso), no deberá ser mayor de 140°F ni menor a 30°F, para evitar mal funcionamiento del Electrodo.
- Según el diseño del tanque, se demarcarán las tres posiciones por donde ingresará el electrodo, considerando siempre que éstos tres puntos se encuentren los más alejados entre sí.
- Coordinar con los propietarios del tanque, el flujo de ingreso de agua tal que el nivel en el interior del tanque se encuentre a una altura mínima de 35 cm.

En cada uno de los tres demarcados en el techo del tanque, ingresará el electrodo hacia el interior del tanque, hasta que tope con las planchas del fondo. En base a la hoja registro, se repetirá el proceso de medición cada hora, hasta obtener lecturas de potencial de polarización por encima de 800 mV respecto al electrodo Ag/AgCl; siendo este valor de potencial reconocido por normas NACE.

3. 4. 3 Resultados obtenidos en las pruebas del tanque

A continuación se muestra las diferentes pruebas realizadas al tanque, para verificar su comportamiento una vez instalado y puesto en servicio del sistema integral de protección catódica.

TABLA 3.4 POTENCIALES NATURALES DEL TANQUE

Potenciales Naturales del Tanque		
Posiciones #	E (mV)	Condición del terreno
1	750	Suelo arcilloso y húmedo
2	761	
3	782	
4	769	

Los valores de potenciales naturales del tanque, fueron obtenidos durante el apagado de los sistemas catódicos aledaños al sector del tanque.

TABLA 3.5 ENSAYO ON – OFF REALIZADO AL TANQUE

Ensayo ON - OFF Polarización Catódica			
Posición #	Potencial ON mV	Potencial OFF mV	Diferencia de Potencial (mV)
1	982	796	186
2	969	812	157
3	968	821	147
4	942	808	134
5	1209	824	385

TABLA 3.6 PRUEBA DE POLARIZACION AL TANQUE

Potenciales de Polarizacion del Tanque					
Tiempo (hr)	Posición #	Potencial mV	I _{rectificador} (A)	V _{rectificador} (Volt)	Condición del terreno
0,5	1	1098	2,97	2,88	Suelo Arcilloso y húmedo Arena fina
	2	1104	2,97	2,88	
	3	1205	2,97	2,88	
	4	1109	2,97	2,88	
	5	1338	2,97	2,88	
4	1	1118	2,94	2,89	Suelo Arcilloso y húmedo Arena fina
	2	1108	2,94	2,89	
	3	1178	2,94	2,89	
	4	1099	2,94	2,89	
	5	1330	2,94	2,89	
6	1	1117	2,94	2,9	Suelo Arcilloso y húmedo Arena fina
	2	1103	2,94	2,9	
	3	1187	2,94	2,9	
	4	1105	2,94	2,9	
	5	1337	2,94	2,9	
8	1	1117	2,94	2,9	Suelo Arcilloso y húmedo Arena fina
	2	1103	2,94	2,9	
	3	1184	2,94	2,9	
	4	1100	2,94	2,9	
	5	1338	2,94	2,9	
30	1	1111	2,94	2,89	Suelo Arcilloso y húmedo Arena fina
	2	1112	2,94	2,89	
	3	1186	2,94	2,89	
	4	1106	2,94	2,89	
	5	1333	2,94	2,89	

Cumpliendo con los requerimientos exigidos por las Normas NACE, el ensayo muestra que el tanque cumple uno de los criterios de PC. En la tabla 3.6 los valores de potenciales de polarización permanecen a las pocas horas de encender el rectificador que alimenta de energía la malla anódica y sus valores están por encima de los 850 mV.

TABLA 3.7 PRUEBA DE INTERFERENCIA AL TANQUE

Prueba de Interferencia SPC Externo				
Posición #	Potencial mV	I rectificador (A DC)	V rectificador (V DC)	Observaciones
1	995	3,51	2,83	Valores obtenidos cuando solamente se encuentra encendido el rectificador del tanque
2	993			
3	990			
4	971			
5	1253			
1	1079	3,01	2,86	Valores obtenidos cuando están encendidos el primero y segundo rectificador, siendo éste último de tanques cercanos
2	1078			
3	1131			
4	1072			
5	1296			
1	1033	3,24	2,84	Se apaga segundo rectificador y se enciende tercer rectificador, se mantiene encendido primer rectificador
2	1011			
3	1013			
4	991			
5	1236			
1	1103	2,97	2,87	Valores obtenidos cuando están operando los tres rectificadores
2	1099			
3	1149			
4	1085			
5	1307			

La prueba de interferencia realizada al tanque, en función del apagado y encendido de los rectificadores cercanos al tanque y que son utilizados para proteger otras estructuras en el campamento petrolero, muestran el efecto de los otros sistemas catódicos externos.

TABLA 3.8 POTENCIALES DE POLARIZACION AL INTERIOR DEL TANQUE

Potenciales de Polarizacion del Tanque SPC Interno		
Tiempo (hr)	Posición #	Voltaje (mV)
0,5	1	912
	2	902
	3	904
1	1	914
	2	902
	3	904
2	1	914
	2	903
	3	904

La norma NACE RP 0575 muestra que debe existir un potencial de polarización de 800 mV medido con respecto a un electrodo Ag/AgCl, lo cual los valores medidos en la tabla 3.8 cumplen éste criterio.

3. 5 Desarrollo de un programa de inspección para monitoreo

de Potenciales

PASOS A SEGUIR PARA MONITOREAR EL SPC EXTERNO.

Un día antes de iniciar el proceso de monitoreo de potenciales, es necesario ingresar un galón de agua en la toma de ingreso de la tubería de irrigación que posee el tanque. Con ello se asegura una buena conductividad en el medio circundante al electrodo de referencia y sus lecturas posean una buena confiabilidad.

1. Abrir la tapa registro de la caja GUAT 26 antiproof, conectar los terminales del multímetro en cada una de las dos conexiones encontradas en dicha caja.
2. Registrar las lecturas del potencial de polarización en el centro del tanque, y llenar el formulario modelo adjunto en este manual.
3. Verificar las lecturas del voltaje y amperaje de salida del transformador – rectificador, a través de los medidores encontrados en dicho equipo.
4. Utilizando un electrodo portátil de Cu/CuSO_4 conectado en exteriores del tanque, y un multímetro registrar lecturas de potencial de protección en cuatro puntos del tanque cada uno

separados 90°. Como referencia se puede tomara lecturas en los siguientes sectores:

5. Manhole principal ubicado por encima de la toma a tierra del SPC.
6. Tubería de Venteo.
7. Tubería de Irrigación, ubicado a 180° con respecto a la toma a tierra del SPC.
8. Línea de ingreso de 24 pulg. para ingreso del agua de proceso.

PASOS A SEGUIR PARA MONITOREAR EL SPC INTERNO.

El documento de diseño del SPC interno, señala una vida útil de 10 años para los ánodos GALVALUM III, en condiciones normales de operación.

Se recomienda seguir el siguiente procedimiento para registrar la operabilidad de los ánodos al interior del tanque:

1. Inicialmente se debe poseer un registro de lecturas de potenciales de polarización en el interior del tanque, una vez que se han instalado por primera vez los ánodos, y que servirán de referencia para futuras pruebas de verificación de potenciales.

2. Permitir una suspensión temporal del tanque, permitiendo que existe un nivel de agua mínimo 40 cm, logrando de ésta manera inspeccionar visualmente los ánodos, medir potencial en el interior del tanque, y desmontar por los menos dos de ellos para verificar su peso.
3. Otra prueba consiste en sumergir en un volumen de agua que cubra al ánodo sin estar conectado al piso del tanque, para verificar los potenciales naturales.

3. 6 Análisis de Resultados

Los resultados referentes a potenciales naturales fueron tomados cuando estuvieron apagados los dos rectificadores cercanos a nuestro tanque, ya que lecturas iniciales mostraban valores de 900 mV, lo cual mostraría irrealmente una protección, sin aún encender nuestro rectificador. Los valores presentados en la tabla 3.4 son cercanos al verdadero potencial natural del acero que es de 550 mV medido con respecto aun electrodo Cu/CuSO_4 .

Al encender el rectificador y esperar que los potenciales se estabilicen, se realizó el ensayo ON – OFF cuyos resultados muestran que el tanque

.cumple con los requerimientos de protección exigidos por normas internacionales, aún cuando estuvieron apagados los otros sistemas catódicos cercanos al tanque.

Posteriormente, los resultados de las pruebas de polarización realizados al tanque, muestran valores por encima de los 850 mV, y llegan a estabilizarse a las 24 hr después de haber encendido el rectificador, según lo muestra la figura 3.7.

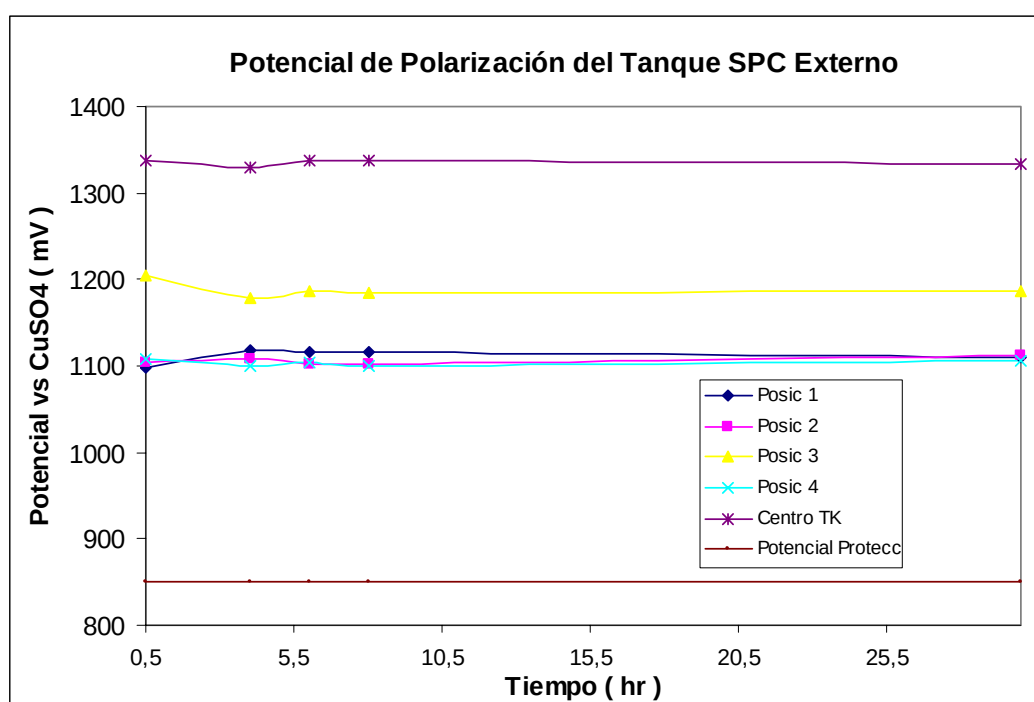


FIGURA 3.7 VARIACION DEL POTENCIAL DE POLARIZACION DEL TANQUE

Para cumplir con las exigencias de la compañía propietaria del tanque, se verificaron la calidad de los materiales y equipos utilizados en la protección catódica del tanque; mediante pruebas de potenciales a los ánodos y de vacío o con carga del rectificador, aún sabiendo que éste equipo ya posee en su catálogo una prueba con carga realizada en los laboratorios del fabricante.

Para reconocer que los sistemas catódico aledaños influyen en el potencial de polarización del tanque, es necesario realizar una prueba de interferencia,

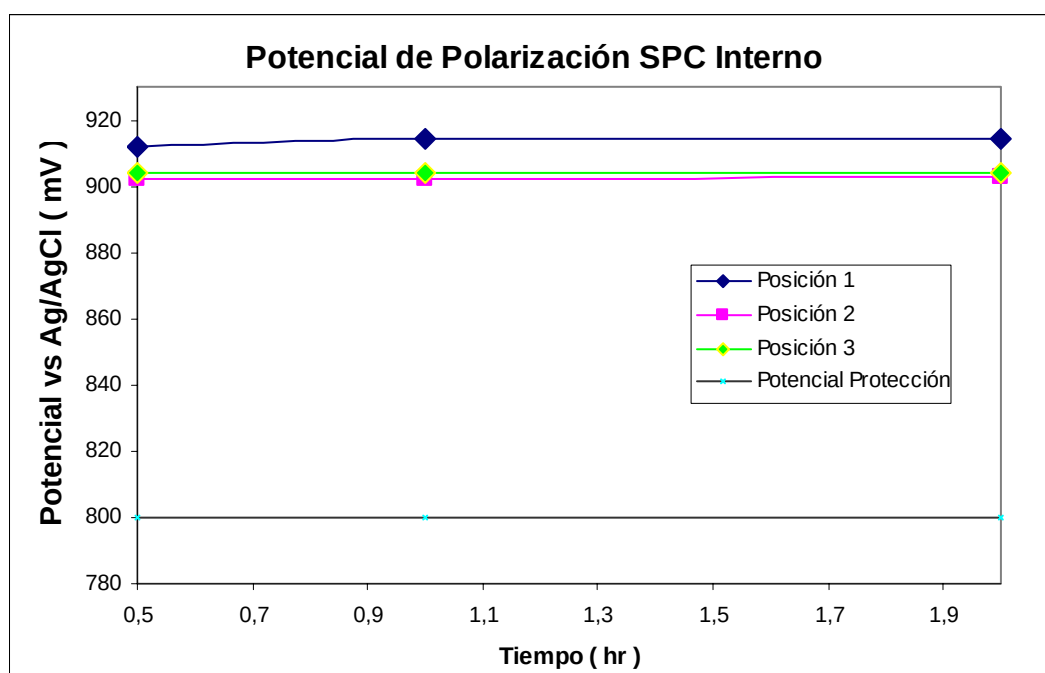
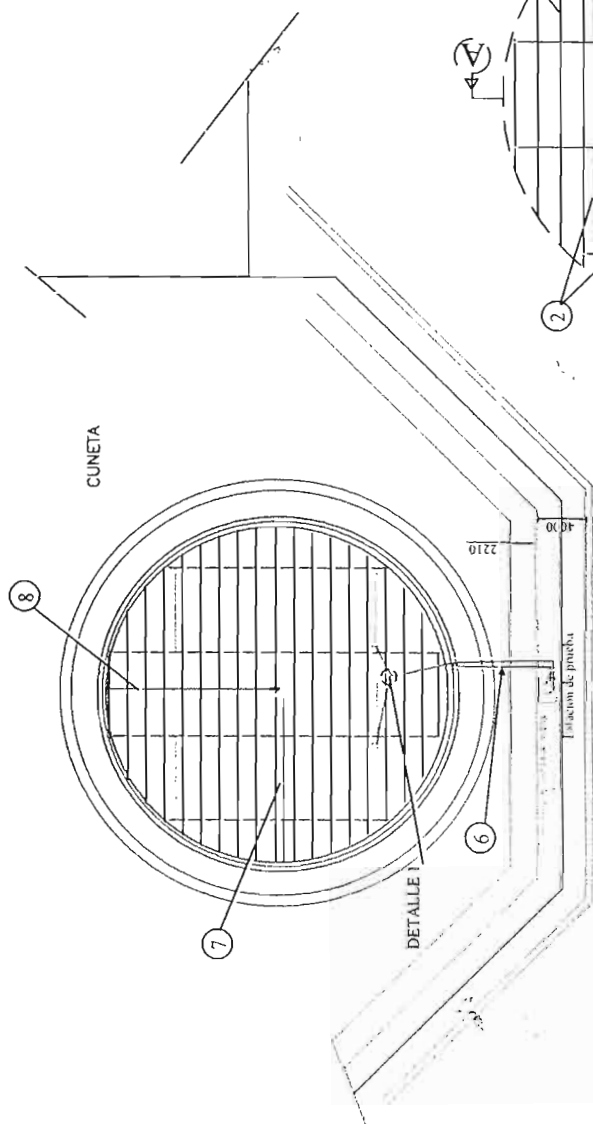


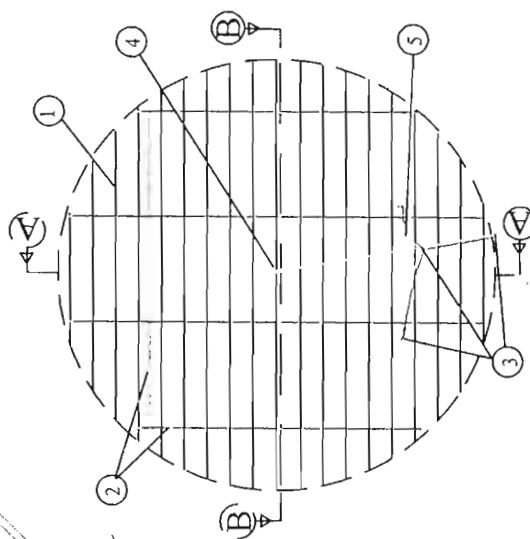
FIGURA 3.8 VARIACION DEL POTENCIAL DE POLARIZACION AL INTERIOR DEL TANQUE

lo cual mostró que uno de los rectificadores el de mayor capacidad de suministro de amperaje, provoca el incremento exagerado de potencial de polarización en el tanque. Los resultados muestran además que el rectificador del tanque provee de menor amperaje al encender cada uno de los rectificadores aledaños, originando que el rectificador trabaje a porcentajes menores de sus capacidad.

Finalmente, al momento de realizar la prueba de polarización en el interior del tanque, el nivel de agua estuvo en la mitad del tanque por lo cual los ánodos estuvieron sumergidos en sus nuevo ambiente, con lo cual se reactivaron y a su vez proporcionando la protección necesaria al tanque en sus interior. Los valores de potenciales se encuentran por encima de los 800 mV que es el potencial de protección medido con respecto a un electrodo Ag/AgCl.



DETALLE 1
EMPALME EN Y PARA CABLES
POSITIVOS DE MALLA ANODICA



ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
8	1	u Tubería de irrigación Ø = 1" , PVC.
7	1	u Tubería de viento Ø = 1" , PVC
6	25	m Cable THHN AWG #14
5	50	m Cable HMPEW AWG #6
4	1	u Elemento de Referencia SFR -007-CLTY con cable #14 NITW
3	4	u Kits de resina de empalme de este fundido, 3M Tipo 90-B1
2	120	m Barra Conductoral (x) anodizada de Titanio, 0.5" x 0.035"
1	435	m Anodo de Titanio- MASO tipo Ribbon 0.25" x 0.025"

FIMCP - ESPOL

Proyecto : Sistema de Protección Catódica a Tanque de Almacenamiento

Escala :



DETALLES DE INSTALACION DE MALLA ANODICA

Materiales :
Cintas Anodicas y barras de Titanio

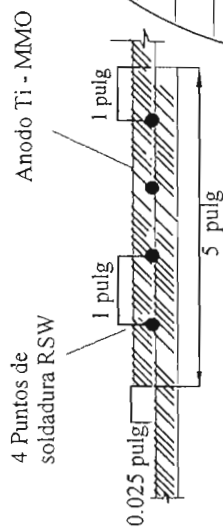
Masa :

Plano :

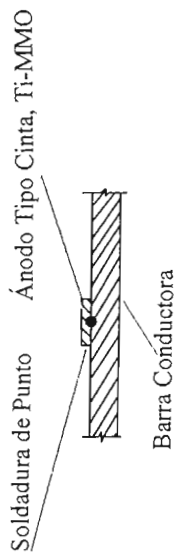
1

Fecha :	Nombre :
Dibujó : 22/02/05	A. Moreano
Revisó : 22/02/05	Ing. Peña

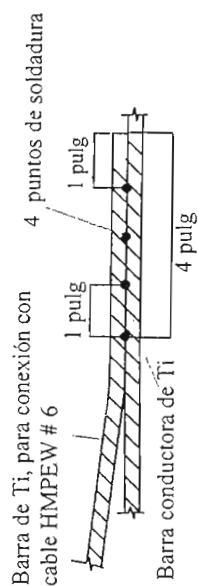
Detalle 1



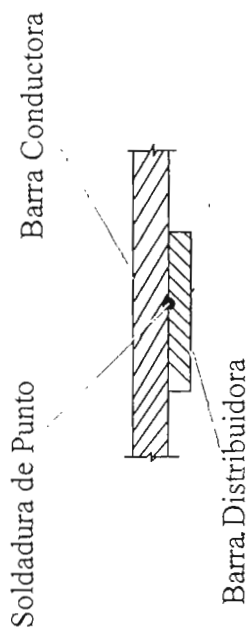
Detalle 3



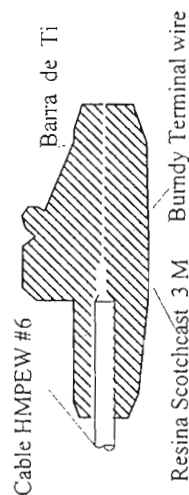
Detalle 4



Detalle 2



Detalle 5



FIMCP - ESPOL

Proyecto : Sistema de Protección Catódica a Tanque de Almacenamiento

Escala :



DETALLES DE CONEXIONES EN MALLA ANODICA Ti - MMO - SPC EXTERNO

Materiales :

Titanio - Mixed Metal Oxides

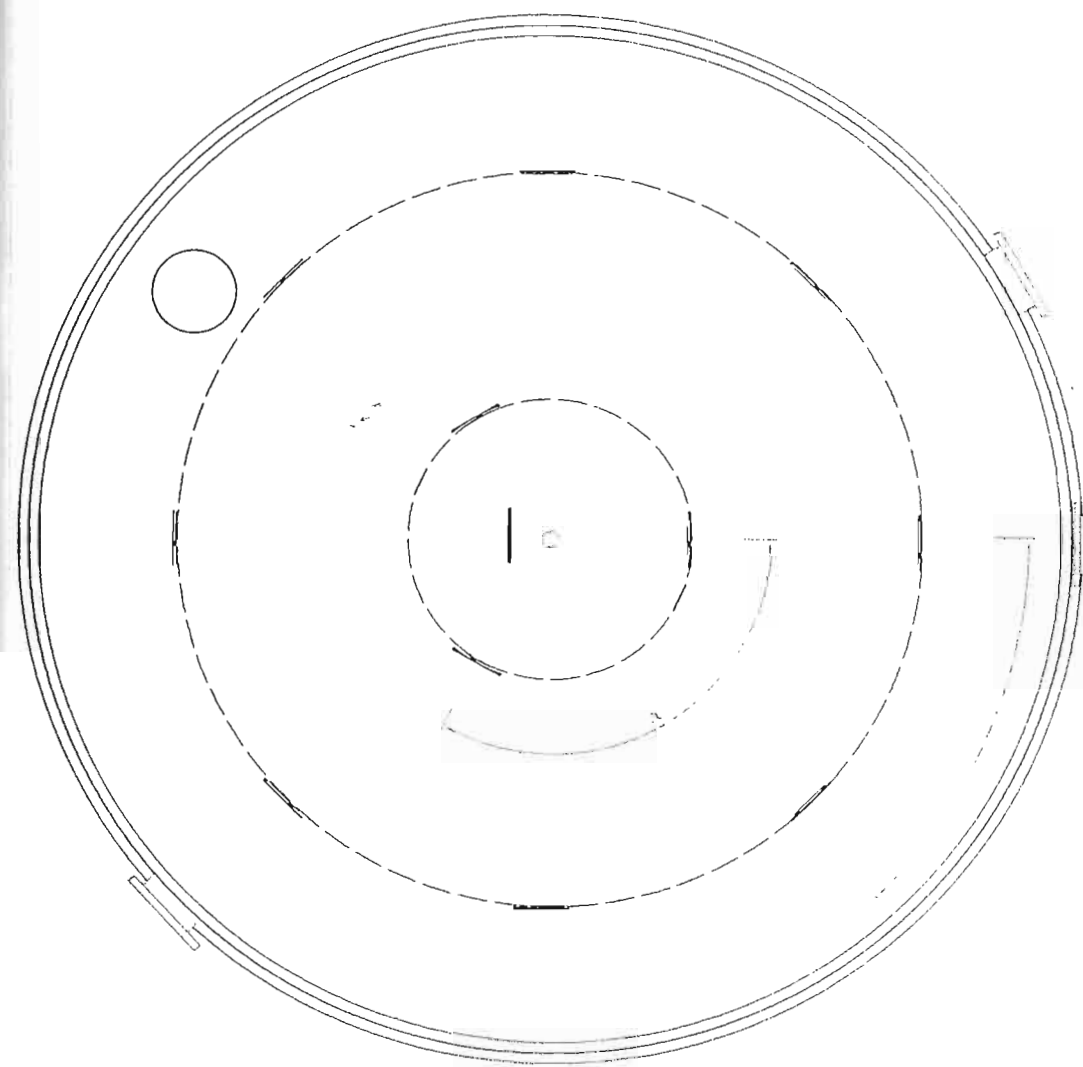
Fecha :
Dibujo : 22/02/05
Reviso : 22/02/05

Nombre :
A. Moreno
Ing. Pina

Plano :

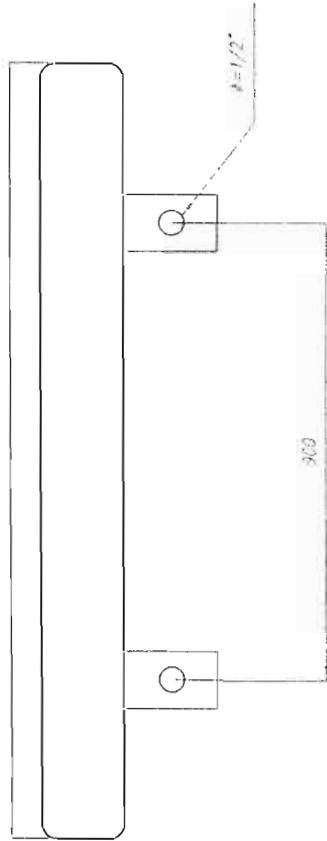
2

Masa :

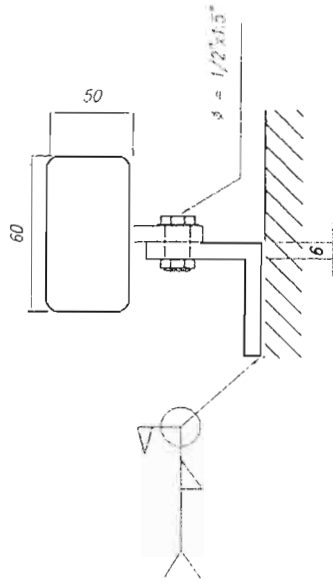
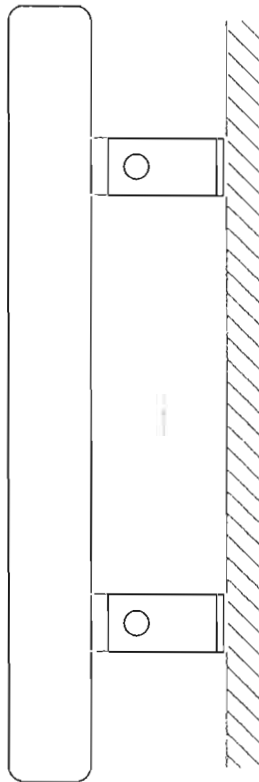


FIMCP - ESPOL		Fecha :	Nombre :
Proyecto : Sistema de Protección Catódica a Tanque de Almacenamiento		Dibujó :	A. Moreno
		Revisó :	Ing. Peña
Escala		Plano	
	INSTALACION DE ANODOS EN TANQUE		3
	Materiales		
	Anodos Galvalum III		
Masa			

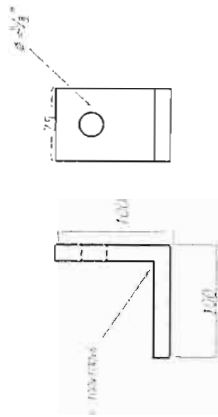
1210



CARACTERÍSTICAS DEL ÁNODO



VISTA DE PERFIL

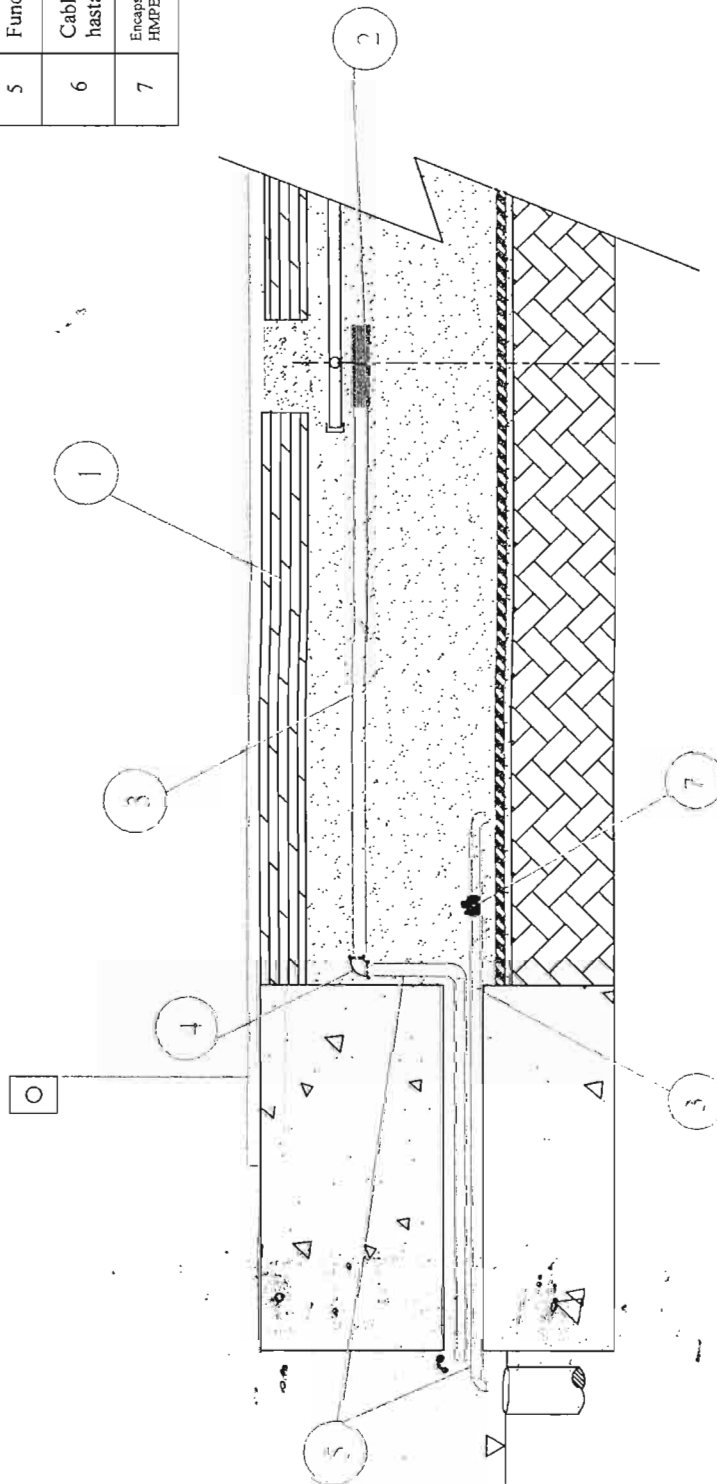


PLATINA METÁLICA

ÁNODO DE ALUMINIO - GALVALUM III

FIMCP - ESPOL		Fecha :	Nombre :
Proyecto : Sistema de Protección Catódica a Tanque de Almacenamiento		Dibujo : 22/02/05	A. Moreano
		Reviso : 22/02/05	Ing. Peña
Escala :		Plano : 4	
DETALLES DE CONEXIONES EN ANODOS			
Materiales : Anodos Galvalum III		Masa :	

ITEM	DESCRIPTION
1	Capa de arena asfáltica. H = 100 mm
2	Electrodo Referencia Permanente Stelth
3	5 tubos rígido galvanizado 1/2" X 3 m
4	Conector Ø=1/2" para funda sellada
5	Funda sellada de 1/2 pulg.
6	Cable HMPEW # 6, desde la malla anódica hasta el terminal positivo del T / R
7	Encapsulación para empalme en Y de los dos cables HMPEW #6 que provienen de la barra conductora de Titanio.



FIMCP - ESPOL		Fecha :	Nombre :
Proyecto : Sistema de Protección Catódica a Tanque de Almacenamiento		Dibujo : 22/02/05	A. Moreano
		Reviso : 22/02/05	Ing. Peña
Escala : 		Plano : 5	
DETALLES DE CONEXIONES ELECTRICAS EN MALLA ANODICA			
Materiales : Material Eléctrico		Masa :	

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente:

1. Los ánodos seleccionados en ésta tesis (Ti – Oxidos metálicos) poseen excelentes propiedades como resistencia a la acidez, baja tasa de consumo y una mayor distribución de la corriente con respecto a los sistemas tradicionales, es por esto que se están utilizando en la protección de tanques a nivel mundial.
2. A partir de las pruebas de polarización y de interferencia realizadas al tanque, los resultados muestran la existencia de interferencia del tipo estática, causada por corrientes parásitas que son originadas por la

cercanía de ánodos difusores de corriente, pertenecientes a sistemas catódicos externo cercanos a la zona del tanque.

3. Las pruebas de interferencia muestran paulatinamente el incremento de los potenciales de polarización en toda la estructura, comprobando de ésta manera que los potenciales no excedan los 1500 mV.
4. Considerando la desconexión de dos rectificadores cercanos al cubeto, los nuevos valores de potencial natural del tanque están en el orden de 761 mV, siendo este valor reconocido internacionalmente como el potencial natural del acero.
5. Los potenciales de polarización bajo las condiciones anteriores, muestran valores promedios de 970 mV. Los ensayos ON – OFF cumplen con el criterio de los 100 mV, estipulado por normas NACE.

6. El transformador – rectificador quedó operando correctamente en los selectores COARSE 1 FINE 1, con un voltaje de salida en sus terminales de 2.9 VDC y 2.94 ADC.
7. El potencial de polarización medido en el centro del tanque, muestra un valor estable de 1307 mV, y en los alrededores de 990 mV.
8. Los valores de potenciales de polarización medidos alrededor del tanque con electrodo portátil Cu/CuSO₄ y los registrados con el electrodo permanente difieren entre sí, lo cual se explica considerando que el electrodo permanente está ubicado en terreno preparado (arena fina), diferente al terreno arcilloso y húmedo encontrado en el cubeto del tanque.
9. La estructura del tanque en su interior, se encuentra protegido según lo muestra las pruebas de polarización con valores por encima de 900 mV, que según la norma NACE RP 0575 con dicho valor de potencial se encuentra protegido incluso si el agua de proceso posea pequeñas cantidades H₂ S.

Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

- I. Referente al proceso de soldadura por resistencia, es necesario seguir las recomendaciones del fabricante del equipo portátil de soldadura, porque el titanio se asemeja a las condiciones de operación al momento de soldar aceros inoxidable.
- II. Para futuros trabajos de instalación de protección catódica utilizando mallas anódicas de titanio con recubrimientos de óxidos metálicos se deben seguir todos los pasos descritos en ésta tesis para asegurar un buen desempeño del sistema al momento de ponerlo en servicio en la protección de fondo de tanques.
- III. Para asegurar un buen desempeño del sistema catódico externo, y evitar la entrada de corrientes parásitas, se recomienda aislar al tanque por medio de la instalación de juntas aislantes (flange insulation gaskets) en toda conexión mecánica que ingrese al tanque.

- IV. Realizar las pruebas para verificar los potenciales de polarización tanto en el centro y alrededores del tanque, trimestralmente.

- V. Si existe una caída en los valores de potencial de polarización en el tanque por debajo de 850 mV, es necesario modificar los selectores pasando del COARSE 1 FINE 1 al COARSE 1 FINE 2, verificando que los nuevos potenciales obtenidos, no deben superar los 1500 mV, y así evitar evolución de hidrógeno y por tanto daño en el recubrimiento del tanque..

- VI. Programar una parada del tanque a los tres años de operación, para verificar si existe desgaste en los ánodos galvánicos.

- VII. Para monitorear continuamente el potencial de polarización al interior del tanque sin necesidad de poner fuera de servicio al tanque, es necesario colocar celdas de referencia de Ag/AgCl adosadas a la pared del tanque.

- VIII. Para evitar valores de potencial demasiado elevados, se recomienda controlar la corriente DC proveniente del rectificador, mediante una caja de conexiones con reóstato (Junction Box), modificando así la corriente de PC y por ende disminuyendo los valores de potenciales de polarización.

A P E N D I C E S

APENDICE A

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA MAQUINA PORTATIL DE SOLDADURA POR RESISTENCIA

Model	AC Input Voltage 50/60 Hz 1-Phase	Work Capacity Combined Thickness Mild Steel	Rated Output At 50% Duty Cycle*	Welder Dimensions			Weight	
				Height	Width	Length	Net	Ship
MSW-41T	110	1/8 in (3.2 mm)	1.5 kVA	6 in (152 mm)	4-1/2 in (114 mm)	13 in (330 mm)	34 lb (15.4 kg)	38 lb (17.2 kg)
LMSW-52T	220	3/16 in (4.7 mm)	2.5 kVA	6 in (152 mm)	4-1/2 in (114 mm)	16 in (406 mm)	42 lb (19.1 kg)	45 lb (20.4 kg)

*Based on 10 second time period; means unit can weld for 5 seconds out of each 10 second time period.

Model	MSW-41, 41T			LMSW-52, 52T		
Tong Length	6 in (152 mm)	12 in (305 mm)	18 in (457 mm)	6 in (152 mm)	12 in (305 mm)	18 in (457 mm)
Input Volts	110			220		
Output Amps $\pm 10\%$	5500	4500	3600	6750	5800	4850

APENDICE B

HOJA REGISTRO DE POTENCIALES

Cliente:	REPSOL YPF
Proyecto:	EPC TANQUE DE AGUA T - 2118 C

Estación de prueba

Equipos de Prueba	Marca / # de serie
_____	_____
_____	_____

Nombre de la Zona: _____

Registro de Potenciales				
Medio	Posiciones #	Potenciales del Tanque (mV)	Condiciones del terreno	Observaciones
Suelo	1			
	2			
	3			
	4			
	5			

Notas: _____

	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre:			
Cargo:			
Firma	_____	_____	_____
Fecha:			

BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE –API-, Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks (API 651), 1997 Edition.
2. NATIONAL ASSOCIATIONS CORROSION ENGINEERS –NACE-, Design, Installation, Operation and Maintenance of Internal Internal Cathodic Protection Systems in Oil-Treating Vessels (NACE RP0575), -2001 Edition.
3. Recommended Practice For External Corrosion Protection of Shop Fabricated Aboveground Tank Floors. “Steel Tank Institute STI – R893 – 89”.

4. NATIONAL ASSOCIATIONS CORROSION ENGINEERS –NACE-, External Cathodic Protection of On-Grade Carbon Steel Storage Tank Bottoms (NACE RP0193), -2001 Edition.
5. TERRY WILKEN, “INSTALLATION OF AN INSTRUMENTED CATHODIC PROTECTION SYSTEM ON A LARGE DIAMETER AST’s”. Technical Paper NACE March 16 – 20 , 2003
6. ALEBACHEW DEMOZ, “Resistance of Impressed Current Grid Anodes for AST Bottoms”. Materials Performance Edition 43,9 (2004): pp. 18 – 21.