

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE
HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN QUÍMICA Y METALURGIA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA
QUIMICA**



**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUIMICO**

**“PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA
PARA CONTROL DE CORROSIÓN EXTERNA DE TANQUES
SUMIDEROS ENTERRADOS USADOS EN LA PRODUCCIÓN
DE PETRÓLEO PAVAYACU - LORETO”**

Autor: Carlos Alberto ESPINOZA HUAMANÍ

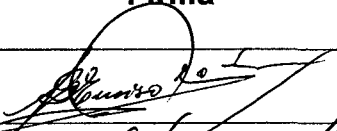
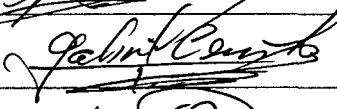
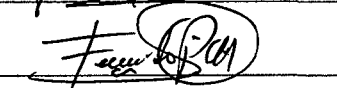
Asesor: Dr. Ybar Gustavo PALOMINO MALPARTIDA

AYACUCHO-PERU
2015

Tesis
2491
Esp.

ACTA DE CONFORMIDAD DEL TRABAJO FINAL DE TESIS
CORREGIDO

Los que suscribimos, miembros del jurado designado para el acto público de sustentación de la tesis titulada “ **Protección catódica por corriente impresa para control de corrosión externa de tanques sumideros enterrados usados en la producción de petróleo Pavayacu - Loreto**” presentado por el bachiller **Carlos Alberto Espinoza Huamaní**, la cual fue sustentada el día 22 de diciembre del 2015, en merito a la Resolución Decanal N° 084-2015-FIQM-D, damos la conformidad al trabajo final corregido, aceptando la publicación final de la mencionada tesis y declaramos el documento APTO para que pueda iniciar la gestiones administrativas que conduzcan a la expedición y entrega del Título Profesional de Ingeniero Químico.

Miembros del Jurado	DNI	Firma
Ing. Bernardo ENCISO LOPEZ	28206870	
Ing. Gabriel Arturo CERRÓN LEANDRO	28213156	
Ing. León Fernando PEREZ CHAUCA	06547654	

AGRADECIMIENTO

Mi reconocimiento a la empresa Corporación Petrolera S.A. (CORPESA) y a Pluspetrol Norte (PPN) que me brindaron sus instalaciones para el desarrollo de mi tesis, a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), mi Alma Mater, es digna de mi reconocimiento por permitirme aprender y compartir mis conocimientos.

Agradezco especialmente al Dr. Ybar Palomino Malpartida por su constante asesoramiento en el desarrollo de la tesis, a los Ingenieros Carlos Ccallocunto Pintado y Máximo Dueñas Quinto por sus valiosos aportes.

Finalmente, agradezco de manera especial a Dios, a mis Padres (Alberto y Angelica), hermanos (Ruth . Enrique y Aracely) por sus enseñanzas aprendidas , a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Química por su permanente apoyo en el logro de mi carrera profesional.

ÍNDICE GENERAL

Pág.		
	RESUMEN	I
	INDICE GENERAL	II
	ABREVIATURAS	III
	SIMBOLOGÍAS	IV
	ÍNDICE DE FIGURAS	V
	ÍNDICE DE TABLAS	VI
	ÍNDICE DE PLANOS	VII
	INTRODUCCIÓN	12
	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	13
CAPITULO 1		
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA		
	1. Antecedentes	14
	2. Fundamento de Teórico	16
	2.1 Corrosión	16
	2.2 Corrosión en la industria petrolera	17
	2.3 Importancia de la corrosión	18
	2.4 Formas básicas de corrosión	19
	2.4.1 Corrosión general	19
	2.4.2 Corrosión galvánica	20
	2.4.3 Corrosión por picaduras	20
	2.4.4 Corrosión en grietas o hendiduras	21
	2.4.5 Agrietamiento por el medio	22
	2.4.6 Corrosión por erosión	23
	2.5 Corrosión en tanques enterrados y/o sumergidos	24
	2.5.1 Mecanismo básico de la corrosión en tanques enterrados	24
	2.5.2 Celda de corrosión	24
	2.5.3 Características del suelo	28
	2.5.4 Variables que afectan la resistividad de un terreno	29
	2.6 Factores que afecta la velocidad de corrosión	30
	2.6.1 Relación ánodo/ cátodo	30
	2.6.2 Contenido de humedad	30
	2.6.3 Conductividad	30
	2.6.4 Actividad química	31
	2.6.5 pH	31
	2.7 Serie Galvánica	31
	2.8 Diagrama Pourbaix	32
	2.9 Control de corrosión	33
	2.9.1 Diseño	33

2.9.2	Inhibidores	34
2.9.3	Selección de materiales	34
2.9.4	Protección Catódica	34
2.9.5	Recubrimiento de protección	34
2.9.6	Alteración del ambiente	35
3.	Fundamentos de la protección catódica	35
3.1	Definición de protección catódica	35
3.2	Polarización catódica	36
3.3	Criterios de protección catódica	37
3.4	Densidad de corriente	38
3.5	Factores que incluyen en la protección catódica	38
3.5.1	Contenido de humedad de suelo	38
3.5.2	Textura del suelo	39
3.5.3	pH	39
3.5.4	Temperatura	39
3.5.5	Contenido de Oxígeno	39
3.5.6	Movimiento de estructura y electrolito	39
3.5.7	Actividad microbiológica	39
3.6	Sistema de protección catódica aplicados en tanques	40
3.6.1	Norma nacional en tanques enterrados	40
3.6.2	Normas internacionales para sistemas catódicos externos	40
3.7	Sistema de protección catódica por ánodos galvánicos	41
3.7.1	Tipos de ánodos galvánicos	42
3.7.2	Propiedades de los ánodos galvánicos	42
3.7.3	Características de los ánodos galvánicos	43
3.7.4	Instalación de la protección catódica galvánica	44
3.8	Sistema de protección catódica por corriente impresa	45
3.8.1	Ánodos utilizados en corriente impresa	46
3.8.2	Fuente de energía-rectificador	47
3.8.3	Instalación del sistema de corriente impresa	48
4.	Instrumentación en protección catódica	49
4.1	Electrodo de referencia	50

CAPITULO 2

PARTE EXPERIMENTAL	51	
2.1	Ubicación geográfica de los tanques sumideros enterrados	51
2.2	Datos requeridos para diseños en protección catódica	52
2.2.1	Características de los tanques sumideros	52
2.2.2	Medición de potenciales naturales y tipo de recubrimiento	53
2.2.3	Medición de resistividad del suelo	53
2.2.4	Requerimiento de corriente	55

2.3 Cálculos de Diseño del sistema de ánodos galvánicos	57
2.3.1 Cálculos del área superficial de los tanques sumideros	57
2.3.2 Requerimiento de corriente experimentalmente	57
2.3.3 Características y tipo de ánodos requeridos	59
2.3.4 Cálculos de los ánodos en función de la masa anódica vs tiempo	60
2.3.5 Drenaje de corriente por ánodo	61
2.4 Instalación del sistema de ánodos galvánicos	63
2.5 Monitoreo del sistema de ánodos galvánicos	63
2.6 Cálculos de diseño de un sistema de corriente impresa	65
2.6.1 Características y tipos de ánodos requeridos	65
2.6.2 Requerimiento de corriente de protección	65
2.6.3 Número de ánodos MMO requeridos	66
2.6.4 Selección del rectificador	67
2.7 Instalación y puesta en marcha del sistema de corriente impresa	69
2.7.1 Instalación de ánodos de MMO	70
2.7.2 Excavación de zanja y acometidas eléctricas	70
2.7.3 Instalación de unidad de rectificador	71
2.8 Operación y monitoreo del sistema de corriente impresa	71
2.8.1 Registro de voltaje	72
2.8.2 Medición de corriente	72
2.8.3 Medición de potenciales	72

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 74

3.1 Introducción	74
3.2 metodología	74
3.3 Parámetros	75
Conclusiones	84
Recomendaciones	85

REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

FIGURA

Figura 1. Corrosión en metales	17
Figura 2. Corrosión uniforme	19
Figura 3. Corrosión galvánica	20
Figura 4. Corrosión por picaduras	21
Figura 5. Corrosión en grietas	22
Figura 6. Corrosión por tensión	22
Figura 7. Corrosión por erosión	23
Figura 8. Representación de celda de corrosión	25
Figura 9. Celda de corrosión en tanque sumidero enterrado	25
Figura 10. Proceso de corrosión	27
Figura 11. Corrosión en metales anfóteros	31
Figura 12. Diagrama de equilibrio potencial – pH	33
Figura 13. Protección catódica en tanques	35
Figura 14. Diagrama general de Pourbaix	36
Figura 15. Diagrama de Evans	36
Figura 16. Protección Catódica por ánodos galvánicos	41
Figura 17. Ánodos pre empacados de magnesio	43
Figura 18. Soldadura Exotérmica	44
Figura 19. Split Bolt de cobre	44
Figura 20. Protección catódica por corriente impresa	45
Figura 21. Ánodos de corriente impresa	46
Figura 22. Rectificador de corriente impresa	47
Figura 23. Instalación del sistema de corriente impresa	48
Figura 24. Cables NYY	48
Figura 25. Equipos utilizados en protección catódica	49
Figura 26. Electrodo portátil de cobre/sulfato de cobre	50
Figura 27. Ubicación geográfica de Batería 9 – Pavayacu	51
Figura 28. Tanque sumidero enterrados	52
Figura 29. Equipo Nilsson 440	53
Figura 30. Medición de resistividad de suelo	54
Figura 31. Diagrama de resistividad eléctrica del suelo experimentalmente	55
Figura 32. Perfil de suministro de corriente experimentalmente	56
Figura 33. Instalación del sistema de ánodos de magnesio	63
Figura 34. Medición de potenciales en campo	64
Figura 35. Esquema de planta del monitoreo del sistema de ánodos galvánicos	64
Figura 36. Instalación de ánodos de MMO	71
Figura 37. Esquema de planta del monitoreo del sistema de corriente impresa	73
Figura 38. Lectura de voltaje y la corriente en la unidad rectificadora	73
Figura 39. Dispersión de potenciales en mili volts tanque 1 durante el periodo	77
Figura 40. Dispersión de potenciales en mili volts tanque 2 durante el periodo	77
Figura 41. Dispersión de resistividad durante el periodo	78
Figura 42. Dispersión de corriente durante el periodo	79

Figura 43. Dispersión de voltaje durante el periodo	80
Figura 44. Perfil de potenciales con Ánodos galvánicos vs. Corriente impresa	83

TABLAS

Tabla 1. Fallas en la industria petrolera	.7
Tabla 2. Resistividad de suelos	27
Tabla 3. Serie galvánica	30
Tabla 4. Ánodos galvánicos y su aplicación	43
Tabla 5. Características de ánodos galvánicos	44
Tabla 6 Especificaciones de tanques sumideros	53
Tabla 7. Potenciales y recubrimiento de tanques sumideros	54
Tabla 8. Corriente requerida experimentalmente	57
Tabla 9. Área y corriente requerida por tanques sumideros	60
Tabla10. Características de ánodos de magnesio	60
Tabla 11. Monitoreo del sistema ánodos galvánico	65
Tabla 12. Características de ánodos de MMO	66
Tabla 13. Valores de corriente requerida experimentalmente	67
Tabla 14. Características de conductores de cobre	71
Tabla 15. Características del rectificador	72
Tabla 16. Monitoreo del sistema de corriente impresa	74
Tabla 17 Monitoreo mensual del sistema de protección catódica por corriente impresa en tanque sumidero 1 -2	77
Tabla 18 Resumen estadísticos de monitoreo de la corriente impresa	77

PLANOS

Plano 1	Vista de planta del sistema de protección catódica por ánodos galvánicos
Plano 2	Detalles del sistema de protección catódica por ánodos galvánicos
Plano 3	Vista de planta del sistema de protección catódica por corriente impresa
Plano 4	Detalles del sistema de protección catódica por corriente impresa

RESUMEN

En vista de los problemas que presentan las estructuras metálicas enterradas en el sub suelo así como los tanques sumideros u otras estructuras metálicas empleadas en el almacenamiento de petróleo con el paso del tiempo, presentan deterioro por corrosión al encontrarse en un medio común agresivo que reduce su eficiencia y vida útil, por lo que se requiere implementar innovación tecnológica para incrementar la vida útil de las estructuras expuestas a estas condiciones de operación durante el almacenamiento y procesamiento de petróleo. Con el presente trabajo de investigación se busca desarrollar e implementar un Sistema de Protección Catódica mediante corriente impresa sobre los tanques sumideros enterrados que forman parte de las operaciones, que permitirá un incremento de la vida útil de dichos tanques entre 20 a 25 años aproximadamente haciendo uso de criterios electroquímicos y termodinámicos.

En el primer capítulo abarca la revisión bibliográfica sobre los fundamentos básicos de la corrosión, la electroquímica y las distintas técnicas preventivas para evitar la corrosión, así como los recubrimientos y los sistemas de protección catódica. El segundo capítulo, parte experimental, se enfoca en el desarrollo de los cálculos necesarios para la implementación del Sistema de Protección Catódica, fundamentado bajo los principios y criterios de la protección en metales enterrados contra la corrosión externa, describiendo las dos formas de protección catódica con la finalidad de ver las condiciones de operación de cada sistema y las ventajas que presentan para poder

mitigar la corrosión que presentan los tanques sumideros y así obtener los distintos requerimientos, tales como: ánodos de magnesio , ánodos inertes, cables conductores, conexiones, requerimiento de corriente, rectificador a instalar y demás elementos que formen parte del sistema.

Finalmente, se evalúa los resultados del presente trabajo de investigación, señalando conclusiones y posibles recomendaciones para seguir desarrollando mejoras en el control de corrosión de estructuras metálicas enterradas en el sub suelo por el sistema de protección catódica.

ABREVIATURAS

NACE	National Association Corrosion Engineers
ASTM:	American Society for Testing and Materials
NEMA:	Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos
API	American Petroleum Institute
AWG	American Wire Gauge
HMWPE	High Molecular Weight Polyethylene
MMO	Mixed Metal Oxide
T/R	Rectificador y transformador
STE	Sistema de tanques enterrados
SPC	Sistema de Protección Catódica

SIMBOLOGÍA

Fe	Fierro
O ₂	Oxígeno
H ₂ O	Agua
F.U.	Vida útil material anódico (factor de utilización)
L	Longitud
Ø	Diámetro
° C	Grados centígrados
Lb	Libras
E	Potencial ó diferencia de potencial eléctrico
I	Intensidad de corriente eléctrica
R	Resistencia
V.C.A	Volts de corriente alterna
V.D.C	Volts de corriente continúa
A.C.A	Amperes de corriente alterna
A.D.C	Amperes de corriente continúa
mV	mili voltios
Ω	Ohmio
Ω-cm	Ohmio – Centímetro
pH	Potencial hidrogeno
H:	Hidrógeno
H ⁺	Ion de Hidrógeno
Fe	Hierro
Fe ⁺⁺	Ion de Hierro
C/mol:	Coulomb por mol
mA /ft ² :	Miliamperio por pie cuadrado
Kg/A-año:	Kilogramo por amperio año
Kg/m:	Kilogramo por metro

INTRODUCCION

La corrosión de los metales es un fenómeno natural que ocurre debido a la inestabilidad termodinámica de la mayoría de los metales y con ello un problema que afecta el desempeño, seguridad e integridad de las estructuras metálicas. A nivel mundial esta problemática se ha tratado de controlar con diferentes métodos de control de corrosión, incluida la protección catódica. La industria petrolera debido a la naturaleza de sus procesos (altas concentraciones de ácidos y bases a diferentes presiones y temperaturas) hace que los materiales metálicos, ya no puedan ofrecer una respuesta funcional y como consecuencia se tengan considerables pérdidas económicas por paros de líneas de producción, riesgos de salud, y serios problemas de contaminación ambiental.

Con la expectativa de reducir los paros periódicos por mantenimientos, así como evitar los riesgos antes mencionados. En el presente trabajo se da a conocer la innovación tecnológica con la finalidad de prevenir y controlar la corrosión implementando sistemas de protección catódica para lograr una mejora del estado físico y extendiendo el tiempo de servicio de los tanques.

Muchos son los métodos de control de la corrosión; sin embargo, sólo la Protección Catódica la detiene, llevando el potencial de los sitios catódicos en la dirección electronegativa, hasta el potencial en circuito abierto de los sitios anódicos más activos. La protección catódica en conjunto con un recubrimiento adecuado, es la única opción para aplicaciones tales como estructuras enterradas y sumergidas.

El alcance de este estudio abarca fundamentalmente la selección de un sistema apropiado al problema de corrosión que afecta en particular a los tanques sumideros enterrados, objetivo esencial de esta tesis. Aquí se mostrará el diseño en detalle con su respectiva lista de equipos y materiales a emplear, tales como: ánodos, conductores eléctricos, rectificadores y demás accesorios en general.

Al final de esta tesis se detallará las ventajas y desventajas de los sistemas de protección catódica por ánodos galvánicos y corriente impresa, la factibilidad para su implementación de ambos sistemas de protección catódica, optando por el sistema óptimo en cuanto a su requerimiento, disponibilidad de materiales de instalación en el mercado, tipo de corriente y tiempo de servicio.

Objetivos de la investigación

Objetivo General

Controlar la corrosión externa de los tanques sumideros enterrados usados en la producción de petróleo Pavayacu – Loreto por el sistema de protección catódica.

Objetivo Específicos

- a) Obtener los potenciales de protección -850mV . (estructura – suelo).
- b) Lograr que los tanques sumideros enterrados se encuentren en óptimas condiciones para el almacenamiento.
- c) Prolongar la vida útil de los tanques sumideros.
- d) Conocer las ventajas y desventajas del sistema de protección catódica.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Antecedentes

A Nivel Nacional

La prevención de la corrosión exterior en superficies enterradas y/o sumergidos, se llevó a cabo mediante la aplicación de recubrimientos anticorrosivos, complementados con sistemas de protección catódica. Más aún, se obtuvo información acerca de las características en cuanto a estándares de potencial y corriente de cada recubrimiento para potenciar los resultados. La importancia del presente trabajo, es definir las condiciones que generan deterioro de los recubrimientos combinados con sistemas de protección catódica. Se ha tenido presente que la función de los recubrimientos es aislar la superficie externa del metal de las superficies enterradas y sumergidas del medio circundante, con la finalidad de evitar la incidencia de corrosión, reducir los requerimientos de corriente de protección catódica y mejorar la distribución de la misma. (Navarrete, 2008).

A Nivel Internacional

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. 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 más eficientes de protección contra la corrosión. (Moreano, 2005)

Dentro de los métodos protectores podemos encontrar principalmente dos: sistemas de recubrimiento y sistemas de protección catódica, estos se complementan uno con el otro. Los sistemas de recubrimiento que constan básicamente de tres etapas: Preparación de la superficie, fondo o imprimación y el acabado. En cuanto a la protección catódica, que es el segundo sistema, existen dos sub-clasificaciones, la protección catódica por ánodos de sacrificio y la protección catódica por corriente impresa. El sistema de ánodos es un sistema donde se protegerá la estructura sacrificando otra (los ánodos), creando una pila de corrosión donde el cátodo será la estructura protegida y el ánodo un electrodo especial enterrado a cierta distancia de la estructura en contacto con el medio corrosivo. El sistema de corriente impresa funciona bajo el mismo principio con la diferencia que la corriente de protección catódica se obtiene de una fuente externa. La protección catódica incluye muchos campos; podemos mencionar su aplicación en barcos, tuberías enterradas y sumergidas, pozos petroleros, plataformas marinas y lacustres, oleoductos, pilotes metálicos de

muelles, tanques de almacenamiento de hidrocarburos, tanques de agua, intercambiadores de calor, en fin su campo es muy amplio, ya que casi todos los materiales sufren corrosión. (Girón, 2005).

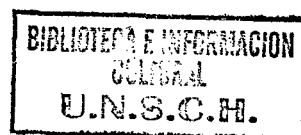
2. Fundamento Teórico

La mayoría de los metales se encuentran en la naturaleza como óxidos metálicos o sales. Refinar para producir metal puro requiere un aporte de energía grande. Esta energía se almacena y está disponible para suministrar la fuerza motriz necesaria para devolver el metal a su estado original - un óxido o sal. Esto significa que los metales son inestables con respecto a la mayoría de ambientes y tienen una tendencia natural a volver a su estado original de menor energía, o “corroer”. (Patton, 1995)

2.1 Corrosión

Se denomina corrosión al ataque destructivo que sufre un material, generalmente metálico, por reacción química o electroquímica con su medio ambiente (atmósfera, suelo, agua, etc.). El término de corrosión suele referirse normalmente al ataque de los metales, aunque otros materiales no metálicos, como los cerámicos y los polímeros, también pueden ser deteriorados por ataques químicos directos, pero en estos casos suele utilizarse el término degradación. (Gómez de León, 2004)

La corrosión es un proceso electroquímico. Esto significa que la corriente eléctrica fluye durante el proceso de corrosión. A fin de que la corriente fluya, debe haber una fuerza impulsora, o una fuente de tensión, y un circuito eléctrico completo. (Ibit, 1995)



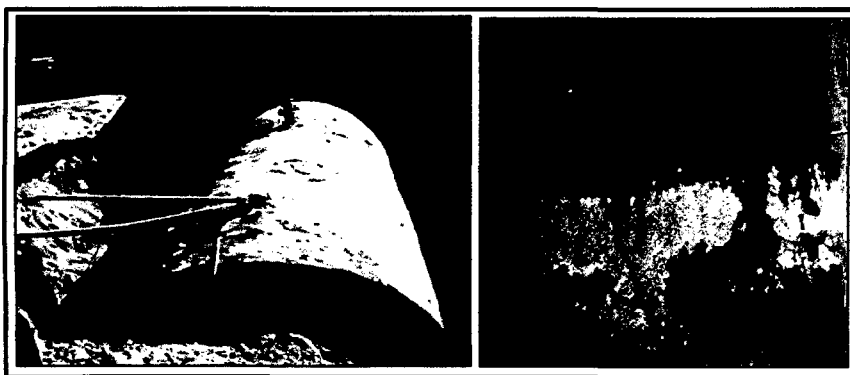


Figura N° 1. Corrosión en Metales

La corrosión es el deterioro de un material como resultado de una reacción con su medio (Figura N°1). Para un material en contacto con una solución acuosa, esta es una reacción electroquímica que implica la transferencia de carga eléctrica (electrones) a través de las interfases metal/solución. (NACE-CP1, 2010)

2.2 Corrosión en la industria petrolera

La industria petrolera utiliza materiales metálicos para lograr extraer, transportar, procesar y almacenar los diferentes productos desde los pozos hasta los terminales de embarque. Por lo general, estas estructuras (*ductos, tanques, separadores, etc.*) se ven afectadas por los fenómenos de corrosión **externa** e interna. De todas las fallas que ocurren en las operaciones de industria del gas y petróleo la más importante es la corrosión con el 33% de los casos.

Tabla N° 1. Fallas en la industria petrolera

Tipo de fallas	Porcentaje
Corrosión	33
Fatiga	18
Daño mecánico	14
Fractura frágil	9
Defecto de fabricación	9
Defecto de soldadura	7
otros	10

Fuente: M.B. Kermany and D. Harrop, BP International

2.3 Importancia de la corrosión

La Corrosión es muy significativa tanto en términos sociales como económicos.

En los Estados Unidos, las pérdidas directas debidas a la corrosión son de más de \$276 billones de dólares anuales o el 3.1% del Producto Interno Bruto (PIB). Estas pérdidas incluyen productos domésticos tales como automóviles, calentadores de agua, plomería, y de superficies expuestas tales como canales en techos y cañerías de salida de agua. También incluye el costo de la corrosión en la industria, y pérdidas debidas al deterioro de infraestructura pública incluyendo puentes, edificios, sistemas de abastecimiento y desecho de agua y de otras empresas de servicio público.

El costo de la corrosión no puede ser eliminado completamente. Aún si la tecnología de control de corrosión pudiera eliminarla totalmente, habría que considerar el costo de las medidas de control en el análisis de reducción de los costos de corrosión. Como veremos, es usualmente más económico simplemente controlar la corrosión a un cierto límite, que eliminarla completamente.

La lucha contra la corrosión involucra los siguientes aspectos:

- Evitar accidentes que causarían las pérdidas de vidas humanas y deterioro de equipos.
- Evitar pérdida de materiales valiosos.
- Controlar la contaminación ambiental.
- Prolongar la vida útil de los equipos.

2.4 Formas básicas de corrosión

Es raro que una estructura sufra un solo tipo de corrosión. La combinación de metales usados en un sistema y el amplio rango de ambientes encontrados en los procesos de procesamiento de petróleo causan más de un tipo de ataque. Todas las formas de corrosión, con la excepción de algunos tipos de corrosión a alta temperatura, ocurren mediante la acción de **celdas electroquímicas**.

2.4.1 Corrosión general (uniforme)

a) Definición.

Es la pérdida de metal en forma uniforme sobre la superficie expuesta. El mecanismo de ataque es típicamente un proceso electroquímico que toma lugar en la superficie de la estructura, los ánodos y cátodos son causados por diferencias menores en composición u orientación entre pequeñas áreas de la superficie metálica. Ver figura N° 2.

La medición experimental es midiendo la pérdida de peso y calculando la pérdida equivalente de espesor metálico, esta puede ser medida directamente usando un micrómetro (o vernier) o un instrumento de medición ultrasónico.

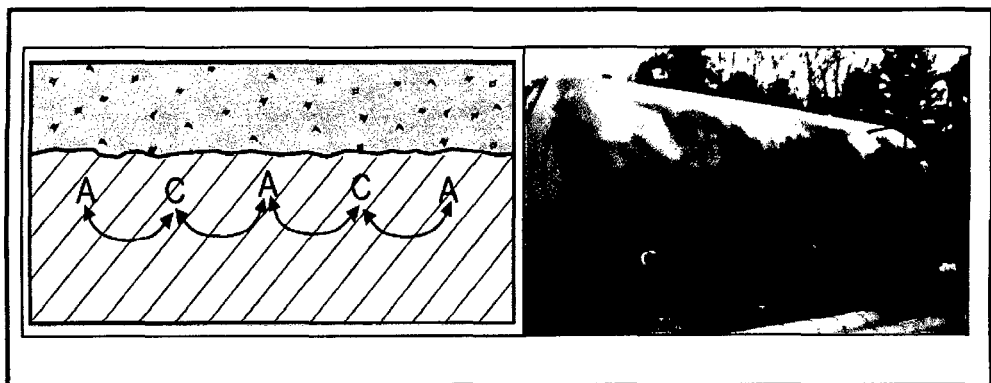


Figura N° 2. Corrosión Uniforme

b) Control

Cuando las velocidades de corrosión son bajas, la corrosión uniforme puede ser tolerada sin necesidad de controlarla. Si la velocidad de ataque es inaceptable, puede ser necesario modificar el diseño original. Los recubrimientos protectores son particularmente efectivos en el control de corrosión uniforme. La protección catódica, puede ser usada en ambientes subterráneos o situación de inmersión.

2.4.2 Corrosión galvánica

a) Definición

Corrosión que ocurre debido a la diferencias de potencial entre metales distintos conectados eléctricamente a un electrolito. El mecanismo es la clásica celda electroquímica formada por el ánodo, cátodo, ruta metálica y electrolito. Para que esto ocurra, *todos* estos componentes deben estar presentes y activos. Ver figura N° 3.

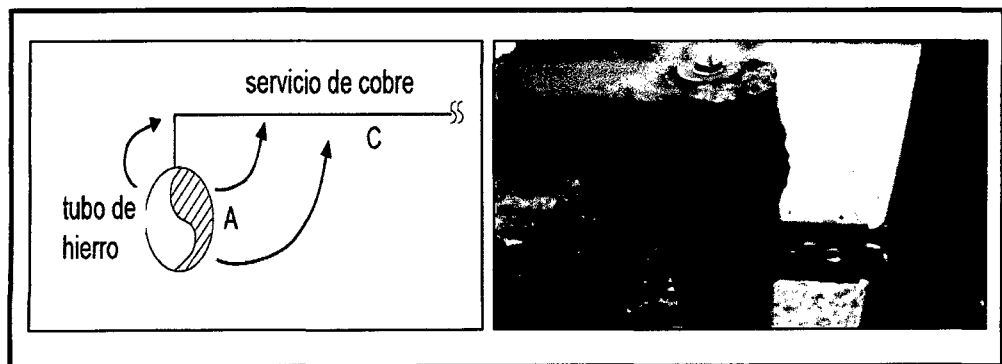


Figura N° 3. Corrosión Galvánica

b) Control

Puede ser controlada por las formas que incluye la corrosión localizada con adición del Aislamiento eléctrico.

2.4.3 Corrosión por Picaduras

a) Definición.

Es una forma de ataque estrecha y profunda, la cual con frecuencia causa una rápida perforación en el espesor del sustrato. El mecanismo con frecuencia, una celda local se establece entre el interior de una picadura y la superficie externa. El interior contiene sales hidrolizadas de tipo ácido muy corrosivas en comparación con la solución en general. Figura N° 4.

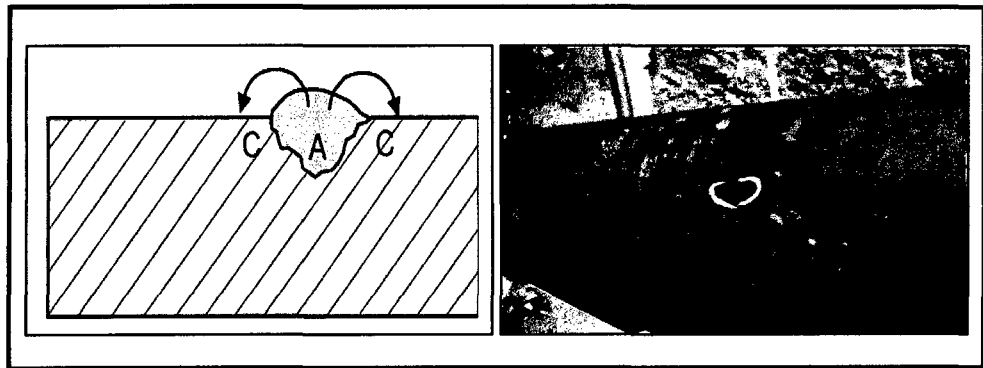


Figura N° 4. Corrosión por Picaduras

b) Control.

La corrosión por picaduras puede ser controlada desde el diseño, recubrimientos y la aplicación de la protección catódica.

2.4.4 Corrosión en grietas o hendiduras

a. Definición

Es una forma de ataque localizado en el cual sitio de ataque es un área donde el acceso libre al medio ambiente circundante es restringido. Ya que la corrosión por hendidura es causada por diferencias en la concentración de materiales dentro y fuera de la hendidura. Ver figura N° 5

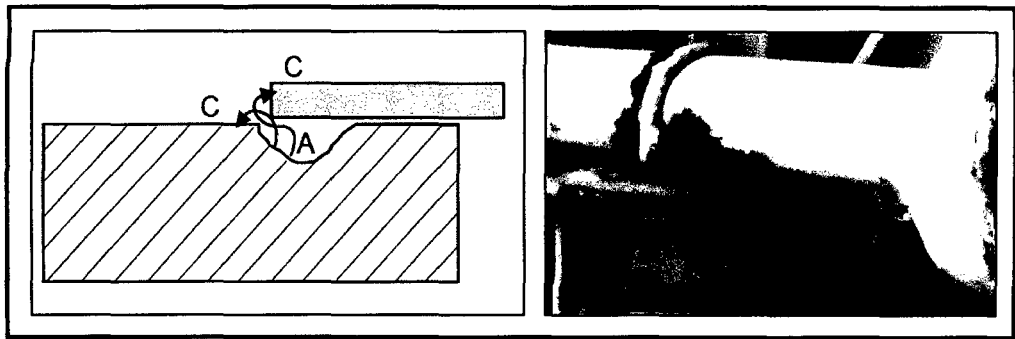


Figura N° 5. Corrosión en grietas

b. Control

El control de corrosión por hendiduras es complicado por la dificultad de alcanzar efectivamente el medio ambiente en el interior de la misma. Las opciones principales para controlar son: Diseño, selección de materiales y protección catódica.

2.4.5 Agrietamiento por el medio

a. Definición

Es una fractura de tipo frágil de un metal dúctil, resultante de un proceso de corrosión modesto y esfuerzos de tensión. Aquí se incluyen las formas de corrosión bajo tensiones (SCC), fractura por fatiga y fractura inducida por el hidrógeno (HIC). Ver figura N° 6.

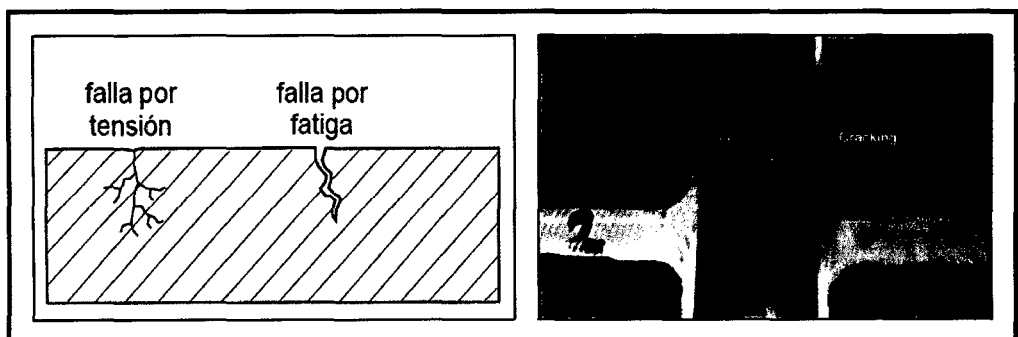


Figura N° 6. Corrosión por Agrietamiento

b. Control

Una de las formas de controlar esta corrosión es a través de la modificación de medio ambiente, que se basa en la eliminación de las especies críticas del medio, o bajando su concentración a niveles donde no provocaran agrietamiento.

2.4.6 Corrosión por erosión y fricción

El producto de corrosión es removido de la superficie metálica debido a la abrasión o flujo de un líquido, acelerando la reacción de corrosión (por ejemplo, tuberías que transportan lodos o sedimentos).

La erosión – corrosión a menudo causa ataque localizado donde discontinuidades en la superficie producen alteraciones del flujo y turbulencias. Este fenómeno ocurre con frecuencia en cordones de soldadura. Ver figura N° 7.

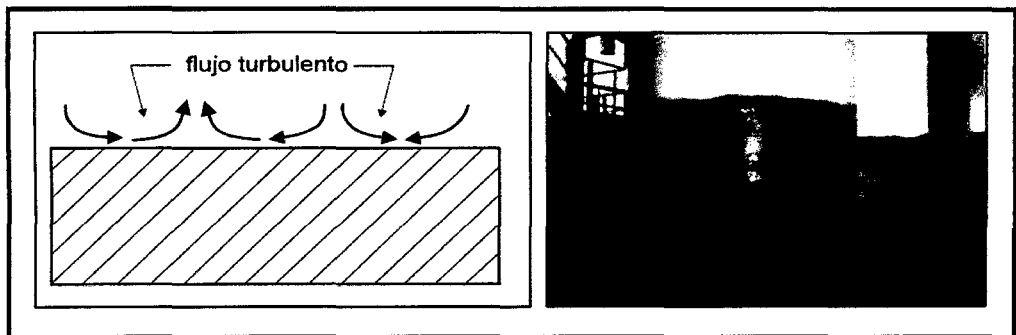


Figura N° 7. Corrosión por Erosión

La dinámica de fluidos en erosión-corrosión por líquidos puede ser un importante factor en determinar la velocidad de remoción de metal. La turbulencia de flujo es también importante.

La corrosión asistida por flujo puede ser controlada en muchas formas, incluyendo: Diseño, selección de materiales, modificación del medio ambiente, recubrimientos protectores y protección Catódica. (NACE-CP3-1.47).

2.5 La Corrosión en tanques enterrados

Hoy en día existe una gran cantidad de estructuras metálicas, que por requerimientos de instalación deber ser enterradas y están en contacto con este tipo de electrolito (suelo y/o agua). Se define como tanque enterrado aquello que está alojado bajo superficie del terreno. Pues bien, unos de los medios donde se puede producir la corrosión es en el suelo, el cual es un electrolito que puede contener agua y sales al mismo tiempo, los cuales determinan la agresividad del terreno. (Huerta, 2001)

2.5.1 Mecanismo básico de la corrosión en tanques enterrados

Cuando un tanque se encuentra enterrado, se puede presentar reacciones químicas debido a los mecanismos de corrosión electroquímica, siempre y cuando exista un mínimo de humedad que permita el flujo de electrones.

En los tanques metálicos la velocidad de la microcorrosión puede ser influenciada por varios factores tales como la agresividad del terreno, el pH, los contaminantes y organismos. (Ibit, 2001)

Por lo tanto, la corrosión de los tanques metálicos enterrados en presencia de este tipo de suelo es similar a una celda electroquímica de un ánodo y cátodo sumergidos en un electrolito.

2.5.2 Celda de corrosión

La corrosión electroquímica implica la transferencia de electrones a través de las interfases metal/electrolito. La corrosión tiene lugar dentro de una celda de corrosión, la cual consta de cuatro partes: ánodo, cátodo, electrolito y conexión o camino metálico.

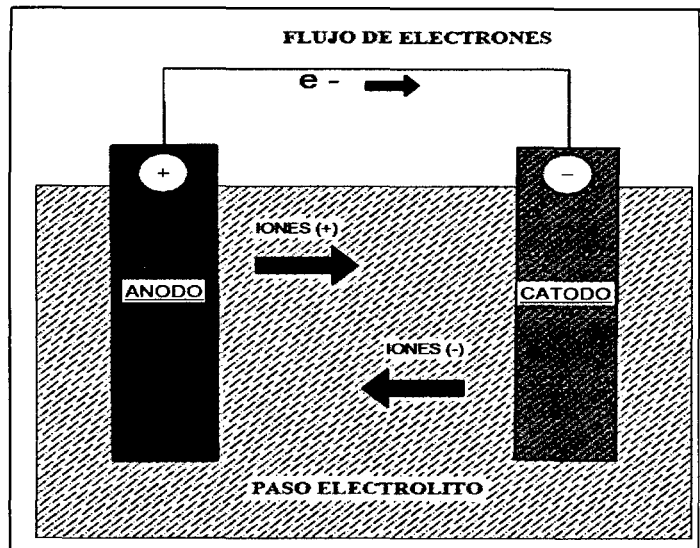


Figura N° 8. Representación de celda de corrosión

Ánodo (material más electronegativo), porción de superficie metálica en donde ocurre la corrosión, disolución del metal en el cual se liberan electrones (reacciones de oxidación), y en consecuencia el paso del metal en forma de iones al electrolito.

Cátodo (material más electropositivo), se considera así a la porción de una superficie metálica en la cual los electrones producidos se combinan con los iones presentes en el electrolito (reacciones de reducción).

Para el caso del tanque enterrado, el medio de transporte de electrones lo conforma el suelo y el tanque mismo.

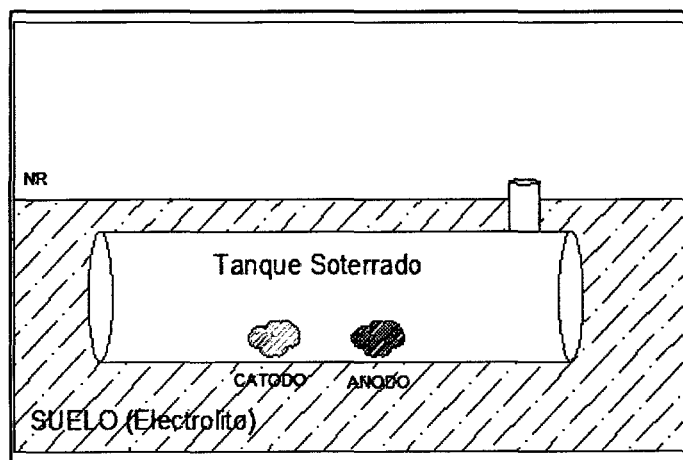


Figura N° 9. Celda de corrosión en tanque enterrado

Podemos decir entonces que toda reacción de corrosión que transcurre seguirá un mecanismo electroquímico, que consta de *dos reacciones parciales*, que se detallan a continuación.

Reacciones Anódicas

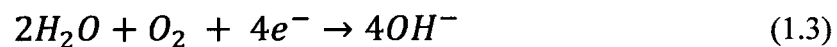
La reacción anódica, es una reacción de oxidación. La oxidación es la pérdida de electrones como se muestra en las siguientes reacciones:



Reacciones Catódicas

La reacción catódica, es una reacción de reducción. La reducción es la ganancia de electrones. Las que se describen son dos de las reacciones de reducción más comunes que ocurren sobre la superficie del cátodo.

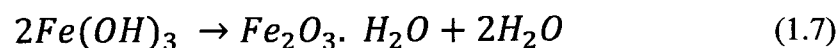
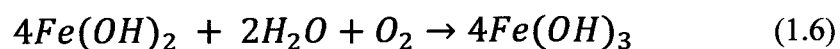
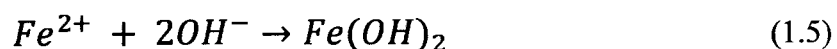
Reducción de Oxígeno – más común en medios neutros.



Reducción de Ion Hidrógeno – más común en medios ácidos.



Reacciones adicional:



En la figura N° 10 se ilustra las reacciones que involucran el proceso de corrosión. **En el ánodo**, al perder electrones quedan iones de hierro cargados positivamente, (Fe^{2+}), tal como se aprecia en la reacción (1.1), los cuales pueden combinarse con iones cargados negativamente, OH^- (iones hidroxilo) que es la formación de los electrones que fluyen a través del acero al combinarse con el oxígeno y el agua, (reacción 1.3), proporcionada por soluciones acuosas neutras o alcalinas, o el suelo húmedo. Estos iones hidroxilo se encuentran en las inmediaciones del ánodo.

Cuando se combinan los iones hidroxilo con los iones ferrosos en el ánodo forman hidróxido ferroso, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ como se aprecia en la reacción (1.5), el cual puede reaccionar con posterioridad para formar, por una parte, hidróxido férrico, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, familiarmente conocido como herrumbre, y a la vez óxido férrico Fe_2O_3 . dicha reacción se da en presencia de agua además de otras especies como podemos apreciar en la reacciones (1.6) y (1.7), que tiene lugar también en el cátodo.

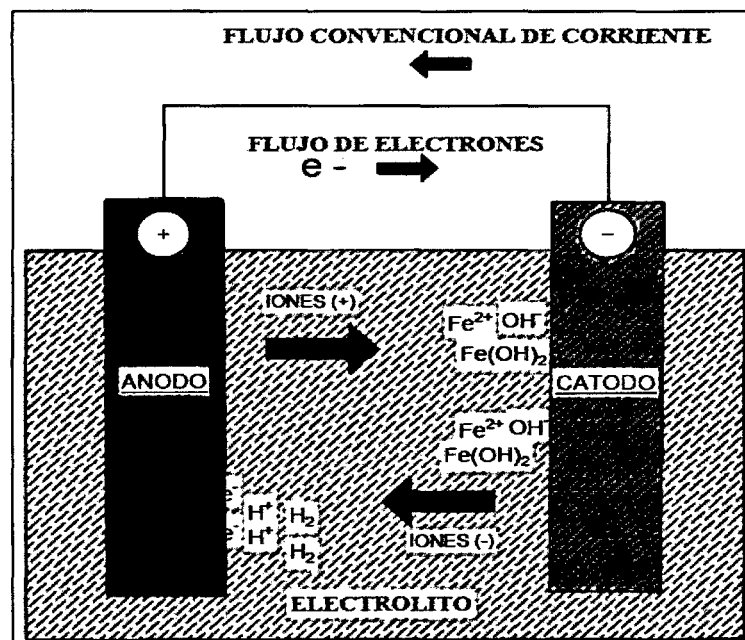


Figura N° 10. Esquema del proceso de corrosión

En el cátodo y procedentes del ánodo, van llegando a través del conductor metálico externo, los electrones. Estos, cargados negativamente, al llegar a la interfase cátodo-solución, se combinan con los iones hidrógeno cargados positivamente, H^+ del medio corrosivo, para formar hidrógeno gaseoso, H_2 . Cuando los iones hidrógeno se convierten en hidrógeno gaseoso por la combinación de estos con los electrones procedentes del ánodo, se crea un exceso de iones OH^- en las inmediaciones del cátodo más aún por la reducción del oxígeno. Este exceso de iones OH^- hace que aumente la alcalinidad.

2.5.3 Características del suelo

La humedad del suelo unido al contenido de sales está íntimamente relacionado con su resistividad y su nivel de agresividad. Mientras más baja es la resistividad del suelo o el medio; más rápido es el proceso de corrosión. La tabla N° 2 muestra una comparación entre los valores de resistividad y el grado de corrosión de acero.

Tabla N° 2. Resistividad de suelo

Resistividad de suelo ($\Omega \cdot cm$)	Grado de corrosividad
0 – 500	Muy corrosivo
500 – 1000	Corrosivo
1000 – 2000	Moderadamente corrosivo
2000 – 10000	Levemente corrosivo
Arriba 10000	Despreciable

Fuente: NACE Corrosion Básic

2.5.4 Variables que afectan la resistividad de un terreno

a) Humedad.

La humedad que posee el terreno determina fuertemente su resistividad. El agua que contiene el terreno, debido a su estado higrométrico, es la que influye. Siempre que se añada agua a un terreno disminuye la resistividad respecto a la que tendría en seco. Se dice que un terreno está “saturado” cuando todos sus intersticios están llenos de agua.

b) Temperatura

La temperatura del terreno también es un factor importante a considerar dentro del estudio de los factores que determinan la resistividad de los suelos. La tierra seca es un aislador excelente; al aire y al sol, las capas de arena seca de la superficie se acercan mucho a la condición de buen aislador. En general, el grosor de tales capas secas no es muy grande, alcanzan sólo entre 10 y 20 centímetros.

c) Compactación de suelo

Una mayor compactación del suelo disminuye la distancia entre las partículas y se logra una mejor conducción a través de la humedad contenida. A medida que se aumenta el contenido de humedad, se alcanza una especie de saturación ya que el agua envuelve la mayoría de las partículas y un mayor acercamiento entre éstas no influye en la conducción.

d) Concentración de sales disueltas

La concentración de sales disueltas en el terreno es un factor determinante en la resistividad del mismo. Al existir una mayor concentración de sal en el suelo, éste mejora su conductividad. En forma general, entonces, se podría establecer que mejor conductor es el terreno mientras mayor contenido de sal haya en él.

2.6 Factores que afectan la velocidad de la corrosión

Entre los factores que intervienen en la velocidad de corrosión de un metal podemos mencionar los siguientes:

2.6.1 Relación ánodo/cátodo

Las superficies relativas de ánodo y cátodo en una celda de corrosión puede afectar en gran medida la velocidad a la que se corre el ánodo. Por ejemplo cuando se conecta un cátodo pequeño a un ánodo grande la densidad de corriente eléctrica será menor y el ánodo se corroe más lentamente. El cátodo se polariza rápidamente reduciendo la corriente de corrosión.

2.6.2 Contenido de humedad

La corrosión electrolítica requiere de la presencia de humedad, un medio seco no permite este tipo de corrosión. En la corrosión de estructuras metálicas enterradas, generalmente un alto contenido de humedad equivale a mayor velocidad de corrosión.

2.6.3 Conductividad

La cantidad de corriente que circula por un electrolito se ve afectada por el contenido de iones. A mayor cantidad de iones, mayor será la conductividad; a mayor conductividad, mayor corriente para el mismo voltaje; y a mayor corriente, mayor velocidad de corrosión. Una elevada conductividad no significa necesariamente un medio corrosivo, solo indica una mayor capacidad para transportar corriente eléctrica.

2.6.4 Actividad química

La actividad química del electrolito suministra las reacciones Redox (Reducción Oxidación) necesarias a una celda de corrosión. Algunos de los compuestos químicos presentes en un electrolito pueden ayudar a retardar la acción química por la formación de películas protectoras.

2.6.5 Potencial de hidrogeno (pH)

En el trabajo de corrosión y protección catódica es importante comprender el concepto de pH. Para muchos metales la velocidad de corrosión aumenta con pHs menores que 4. Entre 4 y 8, la velocidad es relativamente independiente del pH. Por encima de 8, el medio se vuelve pasivo y la velocidad de corrosión tiende a disminuir. En la figura N° 11 se ve el típico comportamiento del acero. (Ibit, 2010)

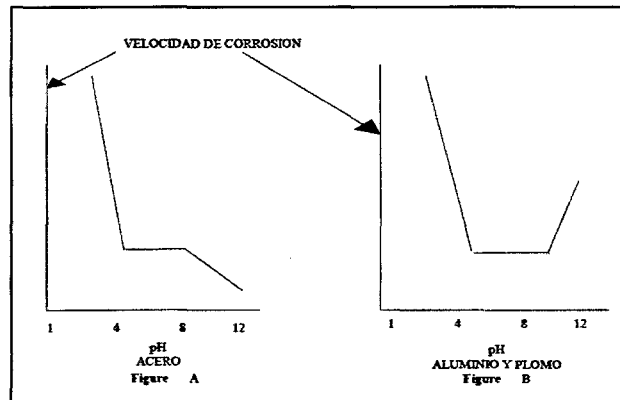


Figura N° 11. Corrosión en metales anfóteros

2.7 Serie galvánica

Es una forma útil de ordenar los metales según su actividad (potencial) expuestos a soluciones. Los potenciales son aproximados, ya que varían según el medio, y están referidos a un electrodo de referencia. En esta serie los metales se disponen desde el más noble (a proteger) hasta el más activo (se consume). Ver tabla N° 3.

Tabla N° 3. Serie galvánica

Metal	Voltios vs. Cu-CuSO ₄	Voltios vs. Ag-AgCl
<i>Extremo Anódico o Activo</i>		
Magnesio	-1.60 a -1.75	-1.59 a -1.74
Zinc	-1.10	-1.09
Aluminio	-1.05	-1.04
Acero al carbono limpio	-0.50 a -0.80	-0.49 a -0.79
Acero al carbono oxidado	-0.20 a -0.50	-0.19 a -0.49
Hierro dúctil	-0.50	-0.49
Plomo	-0.50	-0.49
Acero en concreto	-0.20	-0.19
Cobre	-0.20	-0.19
Hierro-silicio	-0.20	-0.19
Carbón, grafito	+0.30	+0.31
<i>Extremo Noble o Catódico</i>		

Fuente: NACE - Cathodic Protection – CP1 2:26

2.8 Diagrama Pourbaix

Los diagramas de Pourbaix son útiles para predecir si la corrosión puede o no ocurrir bajo ciertas condiciones de pH y potencial, para predecir qué cambios en pH y potencial pueden incrementar, reducir o eliminar la corrosión. (NACE - CBC, 2004).

Son representaciones gráficas que muestra regiones de estabilidad termodinámica de las especies en los sistemas metal - electrolito acuoso (Figura N°12). En general los diagramas potencial - pH son herramientas esenciales. Por esta razón, continúan siendo empleados para la interpretación de estudios de corrosión en sistemas específicos de importancia en ingeniería. (Gómez, 2004)

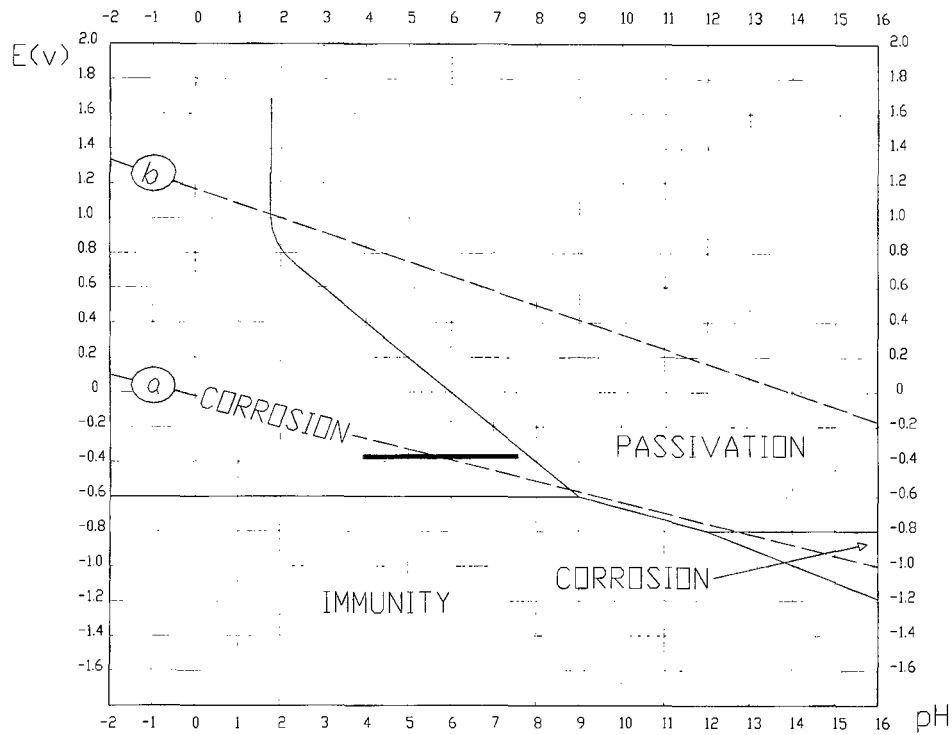


Figura Nº 12. Diagrama de equilibrio Potencial – pH

2.9 Control de Corrosión

Para efectos prácticos, es casi imposible eliminar la corrosión y el secreto efectivo de la ingeniería en este campo radica más en su control, siendo necesario tomar en cuenta el fenómeno corrosivo desde el diseño de las instalaciones y no después de ponerlas en operación. Es así que la corrosión puede controlarse en una variedad de forma, incluyendo:

2.9.1 Diseño

La manera en que se diseña una estructura puede influir en su resistencia a la corrosión. Generalmente hablando, un diseño que:

- Evite acumulación de la humedad, sales químicas, y suciedad, y
- Permita el acceso para la operaciones de recubrimiento será menos susceptible al ataque corrosivo.

2.9.2 Inhibidores

Un inhibidor de corrosión es una sustancia que, cuando se agrega a un ambiente, disminuye la velocidad de ataque en ese ambiente. Normalmente se agregan inhibidores de corrosión en cantidades pequeñas a los ácidos, aguas de enfriamiento vapor y otros ambientes.

2.9.3 Selección de materiales

Algunos metales, como el oro o el platino, se corroen muy despacio o nada. La elección de un material resistente a la corrosión puede ayudar a reducir la velocidad de corrosión.

2.9.4 Protección catódica

Este enfoque del control de corrosión, utilizando una corriente eléctrica, se limita a los metales expuestos a un electrolito como suelo, agua y concreto.

En la protección catódica por ánodos de sacrificio, los ánodos se conectan a la estructura de acero a ser protegida, donde estos ánodos se corroen en lugar del acero estructural. Otra forma de protección catódica es por corriente impresa que proporciona una corriente eléctrica para oponerse a la corriente de las celdas de corrosión.

2.9.5 Recubrimiento de protección

La función del recubrimiento es aislar el metal del contacto directo con el electrolito, pero en la realidad, estos recubrimientos, sin importar la calidad total contienen discontinuidades, además de las que se forman durante el uso, o durante transporte o la instalación de la estructura revestida, es por estas discontinuidades donde se puede generar un proceso de corrosión.

2.9.6 Alteración del ambiente.

Un ambiente atmosférico puede cambiarse para hacerlo menos corrosivo. Un buen ejemplo es el uso de equipo de deshumidificación para secar el aire en tanques que se están preparando abrasivamente. Reduciendo la humedad relativa a menos del 40% la corrosión cesará, para todos los propósitos prácticos. (Ibit, 2003)

3. Fundamentos de la Protección Catódica

Una vez conocidos los principios involucrados en el fenómeno de corrosión estamos en condiciones de comenzar el estudio de uno de los métodos preventivos para su control.

3.1 Definición de Protección Catódica

La protección catódica es una técnica que reduce la velocidad de corrosión de una superficie metálica, convirtiéndola en cátodo (Figura N° 13). Al entrar en contacto el cátodo y el ánodo en el mismo electrolito, un flujo de electrones viajara desde el ánodo hacia el cátodo, protegiéndose de esta manera, el cátodo. Este proceso será continuo siempre que el cátodo y ánodo estén conectados, bien sea directamente o a través de una fuente rectificadora y permanecerá así hasta que se consuma por completo el ánodo inerte.

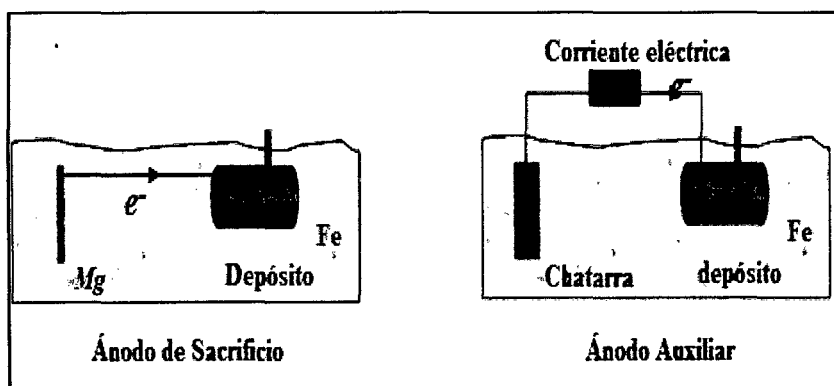


Figura N° 13. Protección catódica en tanques

El mecanismo de este sistema de protección catódica se basa en la polarización catódica del metal a proteger mediante la acción de una corriente continua externa la cual lleva el potencial de la superficie del metal hasta un valor de potencial de protección; esto es, bajar el potencial del metal a proteger hasta un valor en el cual no se corroa, zona de inmunidad (Figura N° 14). (Cantor, 1995).

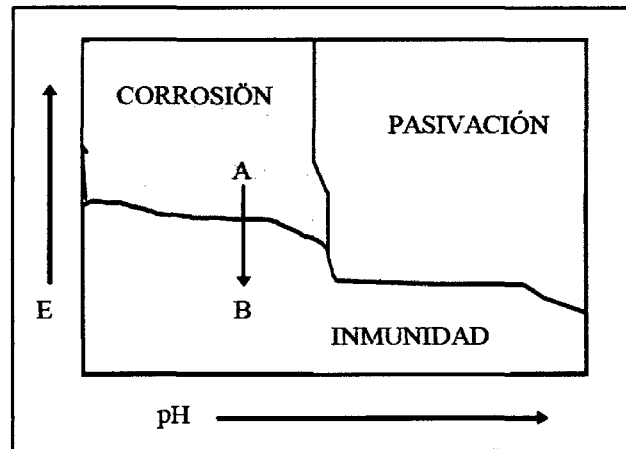


Figura N° 14. Diagrama general de Pourbaix
Fuente: Cantor, 1995

3.2 Polarización catódica

Es la modificación de potencial por efecto de la circulación o aplicación de la corriente externa (Figura N° 15). La polarización disminuye la diferencia de potencial entre las superficies anódicas y catódicas, causando una reducción en la corriente de corrosión (I_{corr}) y la velocidad de corrosión hasta alcanzar un equilibrio. (Ibit, 2010).

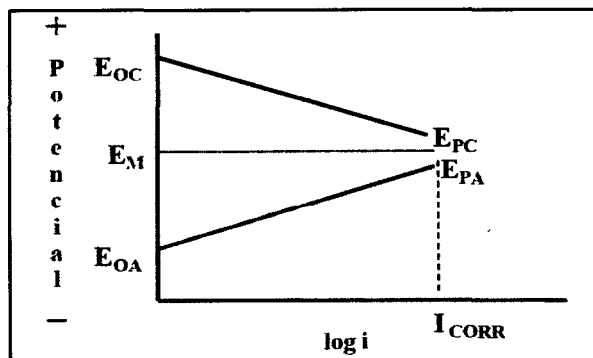


Figura N° 15. Diagrama de Evans
Fuente: NACE – CP1, 2010

3.3 Criterios de Protección Catódica

La protección catódica en los tanques se alcanza cuando se cumple alguno de los criterios de protección que presenta en la norma **NACE SP 0169**.

Hierro y acero enterrados o sumergidos

Hay tres criterios aplicables: dos relacionados con un potencial estructura – suelo de -850mV con respecto a un electrodo de referencia de cobre / sulfato de cobre (Cu/CuSO₄), y otro, con un desplazamiento en la polarización de 100mV.

Estos criterios son:

- 1) **Un potencial negativo (catódico) de al menos 850mV** con la corriente de protección catódica aplicada. Este potencial se mide con respecto a un electrodo de referencia Cu/CuSO₄ en contacto con el electrolito.

Para poder interpretar correctamente esta medición, deben tenerse en cuenta las otras caídas de potencial, además de la que tiene lugar en la interfase estructura-electrolito.

$$E_{-850} = E_{ON} - IR$$

E_{ON} : Potencial ON

IR : Caída de voltaje

- 2) **Un potencial polarizado negativo de al menos 850mV** con respecto al electrodo de referencia de Cu/CuSO₄, potencial denominado como Instant Off. (potencial con la caída IR eliminada pero antes de que la polarización empiece a disiparse)
- 3) **Un mínimo de 100mV de polarización catódica** entre la superficie de la estructura y un electrodo de referencia estable en contacto con el electrolito.
La formación o desaparición de la polarización puede medirse para alcanzar este criterio. Este cambio de potencial de polarización, debe determinarse

interrumpiéndose la corriente de protección y midiendo el abatimiento de polarización.

$$\Delta E_{100} = E_{OFF} - E_{DESPOLARIZADO}$$

E_{Off} : Potencial Apagado

$E_{DESPOLARIZADO}$: Potencial despolarizado

Los criterios de potencial mínimo de protección que se utilizará son de -850mV respecto al Cu/CuSO₄ como mínimo y permitiendo recomendar así mismo, un máximo potencial de protección entre los -1200mV a -1300mV. (Ibit, 2010)

3.4 Densidad de Corriente

Se define como la cantidad de corriente requerida por área a proteger en un sistema de protección catódica, las variables que rodean a la densidad de corriente están en función del tipo y estado del recubrimiento, el medio que lo rodea y temperatura.

Para efecto de la memoria de cálculo se considera una densidad de corriente para aéreas expuestas sin recubrimiento y aéreas con un tipo determinado de recubrimiento.

3.5 Factores que influyen en el Funcionamiento del Sistema de Protección Catódica

Antes de comenzar el diseño del sistema de protección catódica, deben considerarse todos los parámetros que influirán sobre el diseño.

a) Contenido de Humedad en el Suelo

En ausencia de humedad, no pueden producirse las reacciones usuales en corrosión y protección catódica. A medida que el contenido de humedad aumenta (alrededor del 15%), la resistividad del suelo disminuye, favoreciendo a la protección catódica.

b) Textura del suelo

Determina la facilidad que líquidos y gases pueden penetrar en el suelo. El oxígeno puede penetrar estos suelos con facilidad, actuando como despolarizante y aumentando el requerimiento de corriente. Es por ello que las zonas deficientes en oxígeno disuelto se vuelven ánodos con respecto a las zonas más aireadas.

c) Potencial de hidrógeno (pH)

Generalmente, la corriente requerida para la protección catódica es mayor en medios ácidos, en comparación con la corriente requerida en medios básicos o neutros.

d) Temperatura

La velocidad de corrosión tiende a aumentar con la temperatura. Una mayor temperatura reduce la polarización, aumentando también el requerimiento de corriente.

e) Contenido de oxígeno

A medida que aumenta la concentración de oxígeno, la polarización tiende a disminuir. Por lo tanto, en medios más oxigenados, el requerimiento de corriente será mayor.

f) Movimiento de estructura y electrolito

El movimiento relativo entre una estructura y el electrolito influye en el requerimiento de corriente. A medida que aumenta la velocidad relativa, también aumenta el requerimiento de corriente, debido a la menor polarización.

g) Actividad microbiológica

Las bacterias, en especial la bacteria reductora de sulfatos, tienen un efecto despolarizante sobre las estructuras protegidas. (Ibit, 2010)

3.6 Sistemas de Protección Catódica aplicados a tanques enterrados

Los sistemas en la implementación del control de corrosión por protección catódica, están sujetos a normas y practicas recomendadas (RP).

3.6.1 Norma Nacional en tanques y tuberías enterrados.

Que mediante el Decreto Supremo N° 024-2012-EM se aprobó la norma para la inspección periódica de hermeticidad de tanques y tuberías enterrados que almacenan combustibles, líquidos y otros productos derivados de los hidrocarburos.

Los operadores de los Sistemas de Tanques Enterrados.(STE) nuevos deberán presentar a OSINERGMIN un Informe de Índice de Riesgo del STE de acuerdo al Anexo N° 1, a través del cual se establecerá cuando se realizará la primera prueba de inspección de hermeticidad del STE. Asimismo, deberán cumplir con lo siguiente:

- Instalar en los tanques y líneas metálicas un sistema de protección catódica que cumplan por lo menos con lo señalado en el API RP 1632 en su versión más actualizada.

3.6.2 Normas Internacionales para Sistemas Catódicos Externos

La corrosión en tanques metálicos de almacenamiento petróleo enterrados, continúa siendo un problema crítico. Es por ello, que se ha regulado a nivel internacional métodos de protección basados en normas para la aplicación de los sistemas de protección catódica.

API (American Petroleum Institute)

- **API RP1632** - Protección Catódica de tanques de almacenamiento enterrados de petróleo y sistema de tuberías.

NACE (Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión)

- **NACE RP0285**

Control de Corrosión en Sistemas de Tanques de Almacenamiento Enterrados Mediante Protección Catódica.

- **NACE RP 0169-02**

Control de Corrosión Externa en Sistemas de Tuberías Metálicas Enterradas o Sumergidas.

3.7 Sistema de Protección Catódica por Ánodos Galvánicos

La protección catódica galvánica funciona según el principio de que un metal más activo conectado a un material menos activo formará una celda de corrosión galvánica (Figura N° 16). Esto lo usamos en nuestro provecho, para proteger el metal menos activo. La aleación más activa se corroerá (se “sacrificará”) para proteger el otro metal; por lo tanto, estos ánodos se llaman **ánodos de sacrificio**.

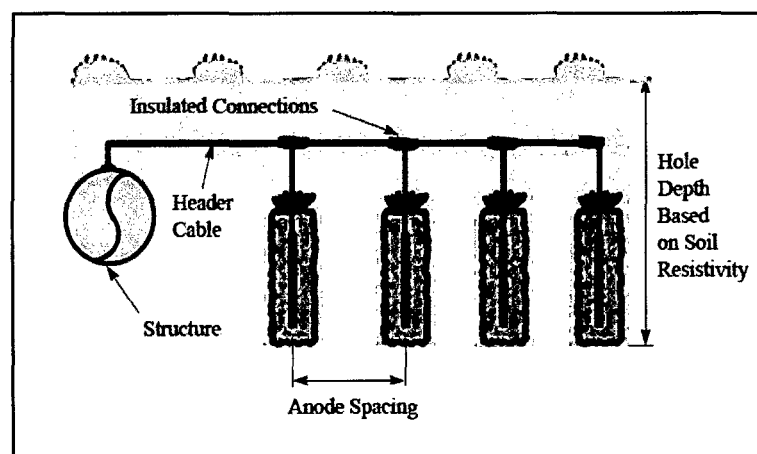


Figura N° 16. Protección Catódica por Ánodos Galvánicos
Fuente: NACE-CP1, 2010

A continuación se describen algunas aplicaciones de este método.

- Cuando se requiere una corriente relativamente baja.
- Generalmente en electrolitos de **baja resistividad**. (< 5000 Ω -cm)
- Cuando es necesario agregar corriente de protección en algún área problemática. (Ibit, 2010)

3.7.1 Tipos de ánodos galvánicos

Como el metal más comúnmente utilizado en la práctica por su bajo precio y alta resistencia es el acero, Los ánodos galvánicos que se pueden conectar a él y que tienen un potencial más negativo y que con mayor frecuencia se utilizan en la protección catódica, cuyas características son descritas a continuación:

Tabla N° 4. Ánodos galvánicos y su aplicación

Material Anódico	Medio Corrosivo	Resistividad
Magnesio	Suelo /Agua dulce	Baja 3000 Ω -cm
Zinc	Agua de mar / suelo	1000 Ω -cm
Aluminio	Fondo marino	20 a 70 Ω -cm

3.7.2 Propiedades de los ánodos galvánicos

Las propiedades que debe tener un material anódico son las siguientes:

- Un potencial de disolución lo suficientemente negativo como para polarizar la estructura de acero a -0.80 V. El potencial práctico de disolución puede estar comprendido entre - 0.95 V y -1.7 V.
- Un elevado rendimiento eléctrico (alto suministro de corriente), expresado en Amper-hora por kg de material (A x h / kg) lo que constituye su capacidad de drenaje de corriente.
- Fácil adquisición y susceptible de fundir en diferentes formas y tamaños.

- Costo razonable, de modo que en conjunción con las características electroquímicas correctas, pueda lograrse una protección a un costo bajo por Ampere-año.

3.7.3 Características de los ánodos galvánicos

El relleno también denominado backfill (Figura N°17) tiene dos propósitos: absorber la humedad y (reducir la resistencia) absorbiendo los productos de corrosión. Por lo tanto, si el ánodo no está rodeado del relleno, puede no funcionar correctamente. La Tabla N° 5 muestra el tipo de relleno de los ánodos.

Tabla N° 5. Características de los ánodos galvánicos

CARACTERISTICAS	TIPOS DE ANODOS		
	Magnesio	Zinc	Aluminio
Potencial (-V)	1.75	1.10	1.05
Relleno	75% yeso; 20% Bentonita , 5% Sulfato de sodio	50% yeso; 50% bentonita	Sin empaque

Fuente: CP3 - NACE; Cathodic Protection Technologist

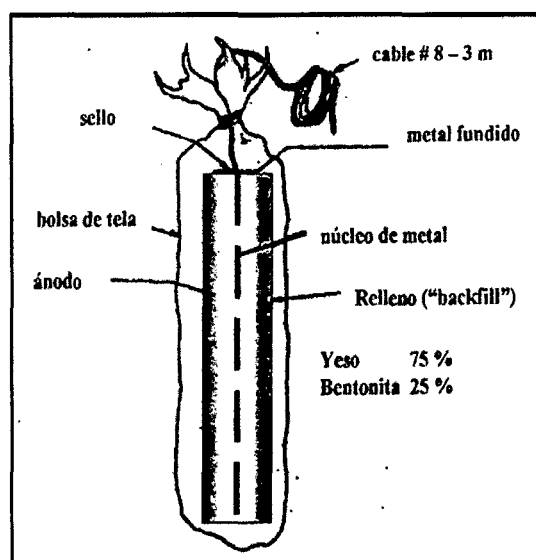


Figura N° 17. Ánodo pre empacado de magnesio

Fuente: Moreano, 2005

3.7.4 Instalación de la Protección Catódica Galvánica

La instalación de los ánodos de protección catódica se realiza bajo tierra y va conectado al tanque por medio de un conductor metálico. La conexión de los cables se puede realizar de dos formas:

a) Soldadura exotérmica

Conocido también como soldadura termitica (Figura N° 18), este proceso utiliza un molde de grafito dentro del cual se vierte una mezcla que contiene una aleación de cobre, polvo de aluminio y elemento iniciador de la reacción.

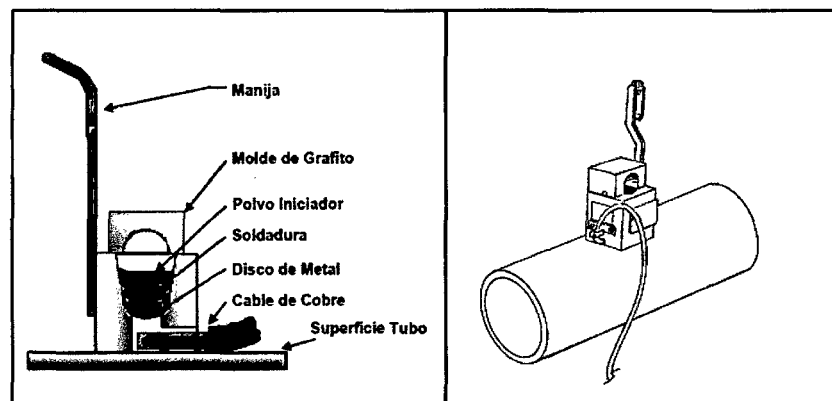


Figura N° 18. Soldadura exotérmica

Fuente: <http://laiken.com.ar>

b) Mecánica

Las conexiones mecánicas se usan por lo general en lugares donde las condiciones explosivas o inflamables prohíben el uso de la soldadura exotérmica. Se hace uso de abrazaderas, terminales que van unidos al extremo del cable. Ver figura N° 19.

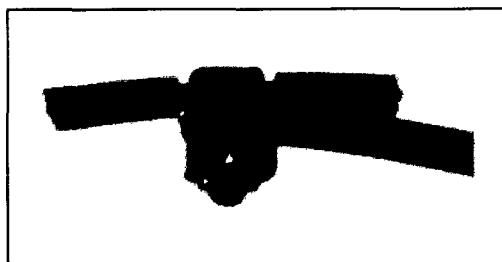


Figura N° 19. Split Bolt de cobre

3.8 Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa

Los sistemas de protección catódica por corriente impresa protegen en forma similar a los ánodos galvánicos. La diferencia es que en este sistema, la corriente la suministra una fuente externa (Figura N° 20). La corriente continua proveniente del rectificador se descarga a través de la cama anódica al suelo migra a través de este para entrar a la estructura y volver luego al rectificador. (Mariano, 1990).

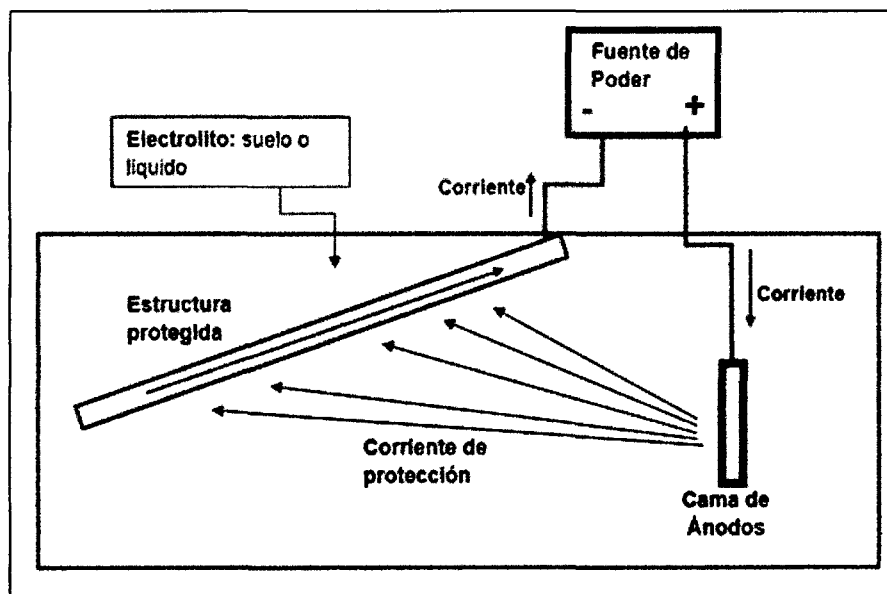


Figura N° 20. Protección catódica por corriente impresa

Las Aplicaciones por corriente impresa son las siguientes:

- Para grandes requerimientos de corriente, especialmente en estructuras desnudas o mal recubiertas.
- En electrolitos de cualquier resistividad.
- Control preciso de la cantidad de corriente suministrada.
- Para tanques de almacenamiento enterrados.
- Para el exterior de fondos de tanques de almacenamiento a nivel.

3.8.1 Ánodos utilizados en corriente impresa

Los ánodos son empelados como materiales que aportan o distribuyen la corriente eléctrica hacia la estructura a proteger. Los ánodos de corriente impresa se fabrican con materiales que se consumen lentamente.

- a. **Grafito.**- Usados en suelo, agua de mar en movimiento. Son prácticamente inmunes al ataque de cloro.
- b. **Aleaciones de Hierro-Silicio-Cromo.**- Usados en agua dulce, agua de mar o aplicaciones enterradas
- c. **Mezcla de Óxidos Metálicos (MMO).**- Consiste en óxidos de metales de tierras raras (Ti, Te, Nb y Pt), depositados sobre un sustrato de titanio (Figura N° 21). Esta mezcla de óxidos de metales nobles es una capa inerte altamente conductora, la cual activa al titanio y le permite drenar fácilmente la corriente de salida necesaria. Además, demuestra una alta estabilidad química, incluso en ambientes con bajos valores de pH y protege al ánodo contra la generación de cloro. Este material anódico viene generalmente en forma de barras, cintas, tubos o malla.

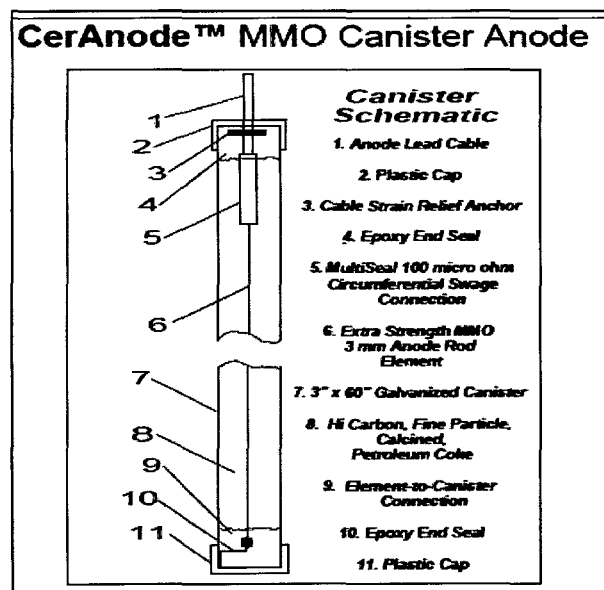


Figura N° 21. Ánodo inerte de corriente impresa

3.8.2 Fuentes de energía - rectificador

La fuente de energía más común usada en la protección catódica por corriente impresa es el rectificador (Figura N° 22). Un rectificador convierte la tensión de corriente alterna AC al voltaje requerido y luego lo convierte a corriente continua requerida en el sistema. La entrada al rectificador consiste en un voltaje de alterna disponible de la red eléctrica.

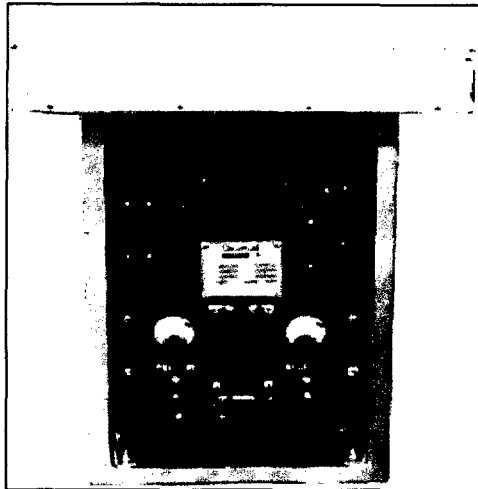


Figura N° 22. Rectificador de protección catódica
Fuente: <http://www.mesaproducts.com/>

La selección estará en función de los parámetros requeridos en cuanto al voltaje y la corriente de salida. La selección de la capacidad de salida de un rectificador dependerá de los siguientes factores:

- Medición o estimación del requerimiento de corriente para la estructura a proteger.
- El voltaje necesario para generar el flujo de corriente desde el ánodo hasta la estructura enterrada.
- Los rectificadores deben seleccionarse con una sobrecapacidad moderada (generalmente del 10 al 50%), para permitir ajustes durante la vida del sistema de protección catódica y evitar daños por sobrecargas de corriente.

3.8.3 Instalación del sistema de corriente impresa

Una instalación del sistema es empalmar cada cable anódico (Figura N° 23), previamente enterrados al cable colector, formado de esta manera el circuito positivo, que va conectado al terminal positivo del rectificador, por otra parte, realizar la conexión de la tapa del tanque con cable colector dirigido al terminal negativo del rectificador, para garantizar un retorno adecuado de corriente, luego complete la instalación rellenando la zanja y la colocación del gabinete del rectificador.

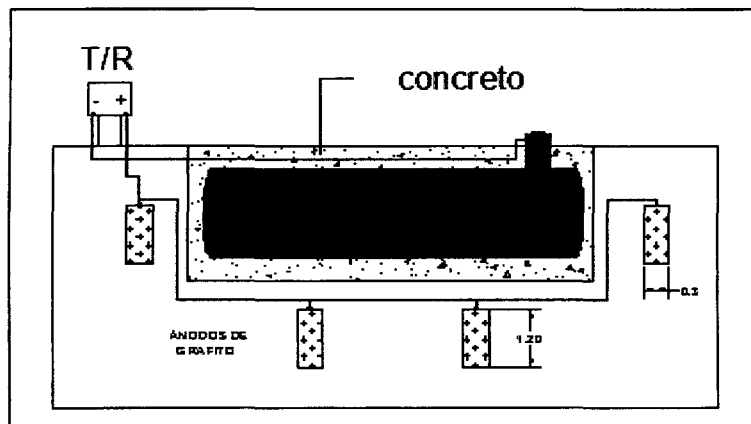


Figura N° 23. Instalación por corriente impresa

Para las conexiones se emplea cables de cobre, se recomienda cable NYY (Figura N° 24), con cubierta protectora, fabricados para enterramiento directo, soportar las agresividades del terreno y los agentes químicos que pudiera existir. El calibre será de acuerdo a la intensidad de corriente que se requiere para conducir la corriente requerida.

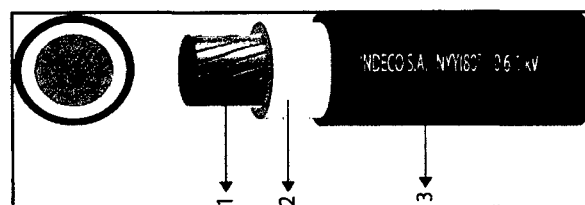


Figura N° 24. Cable NYY

Fuente: Conductores y cables del Perú

4. Instrumentos y accesorios en protección catódica

El ingeniero en corrosión debe tener un conocimiento de la variedad de instrumentos de pruebas utilizados en el trabajo (Figura N° 25), debe saber cómo utilizarlos de manera efectiva en el campo. Solo con este conocimiento pueden obtener datos confiables y significativos.

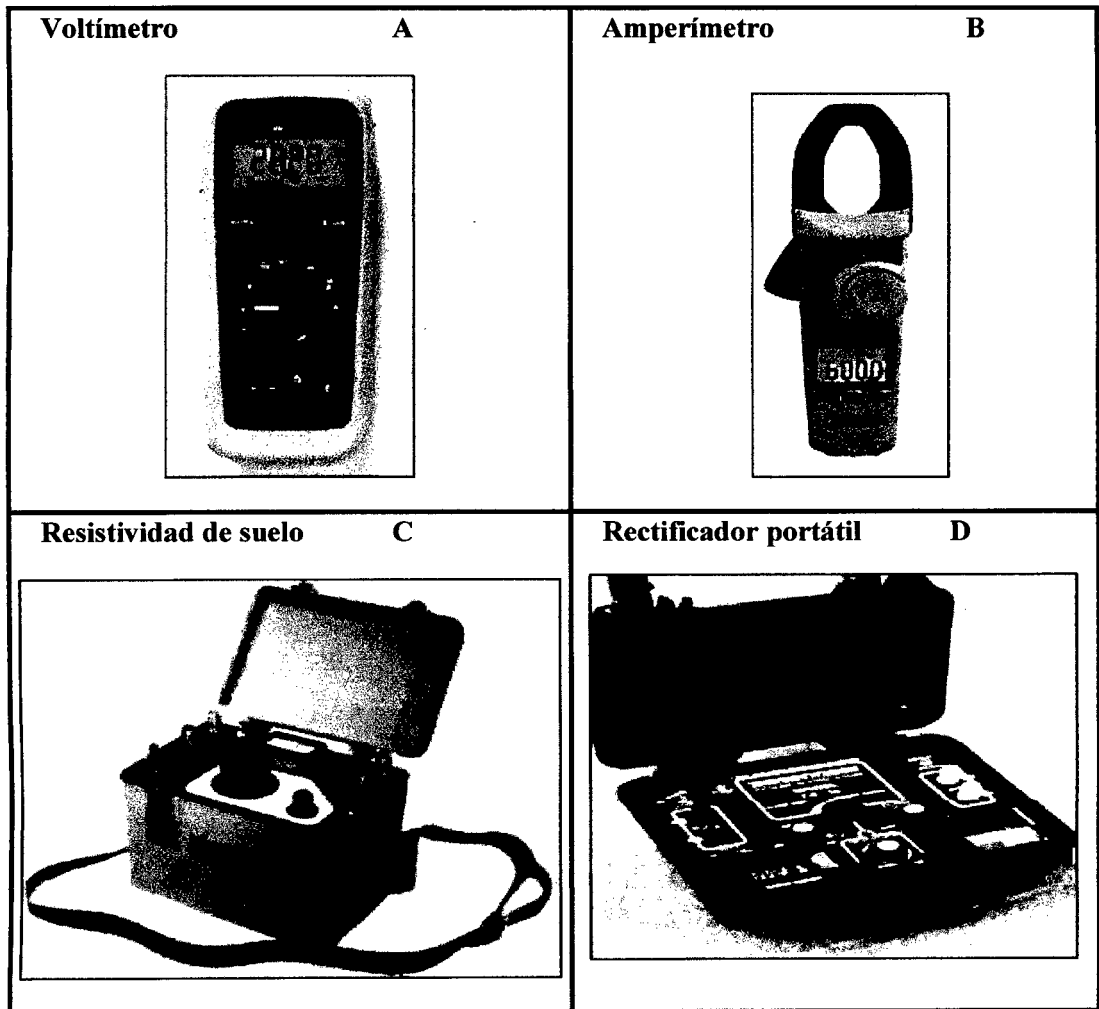


Figura N° 25. Equipos utilizados en protección catódica

Fuente: Peabody's Control of pipeline corrosion

4.1 Electrodo de Referencia

Son instrumentos importantes que permiten medir el potencial de una superficie metálica expuesta a un electrolito. Siempre deben seleccionarse para compatibilidad con el entorno en que se utilizarán.

Electrodo de cobre –sulfato de cobre (CSE)

Son los más usados para medir potenciales de estructuras enterradas y estructuras expuestas a aguas dulces (Figura N°26). El electrodo está compuesto de una varilla de cobre, inmersa en una solución saturada de CuSO_4 , dentro de un cilindro no conductor con un tapón poroso.

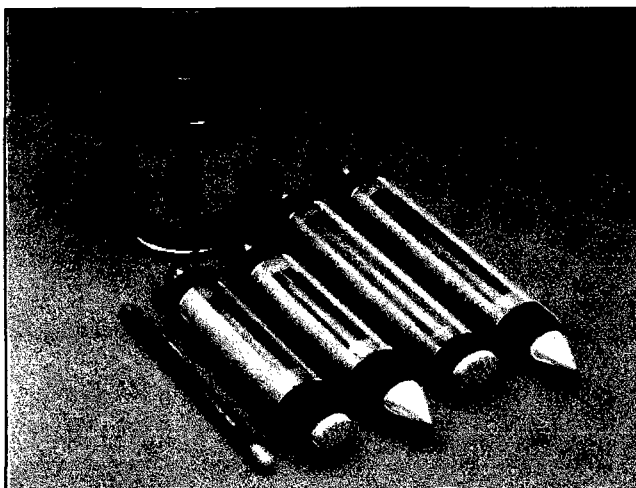


Figura N° 26. Electrodo portátil de cobre/sulfato de cobre

Fuente: Peabody's Control of pipeline corrosion

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS TANQUES SUMIDEROS ENTERRADOS.

Los tanques sumideros se encuentran en la Batería 9 - Pavayacu del Lote 8, operado por la empresa PLUSPETROL NORTE S.A en la región de Loreto, y se encuentra en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84): 0458833N - 9625279E.

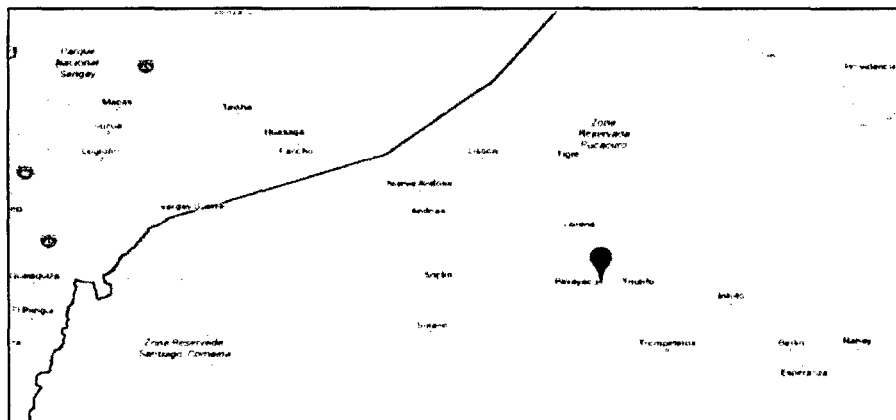


Figura N° 27. Ubicación geográfica de Batería 9 - Pavayacu

2.2 DATOS REQUERIDOS PARA DISEÑO EN SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA

Para la elaboración de los sistemas de protección catódica se debe tener en cuenta las características del terreno donde se localizan los tanques sumideros, las especificaciones de los mismos, el requerimiento de corriente y la vida útil requerida, para llegar a cabo de forma satisfactoria la instalación y puesta en marcha del sistema, y así obtener los resultados esperados de protección y minimizar los costos.

2.2.1 Características de los tanques sumideros enterrados

Los tanques sumideros enterrados (figura N° 28) están contruidos de material de acero al carbono, la función de estos tanques enterrados es la de almacenar agua y crudo ubicadas en la batería 9 – Pavayacu.

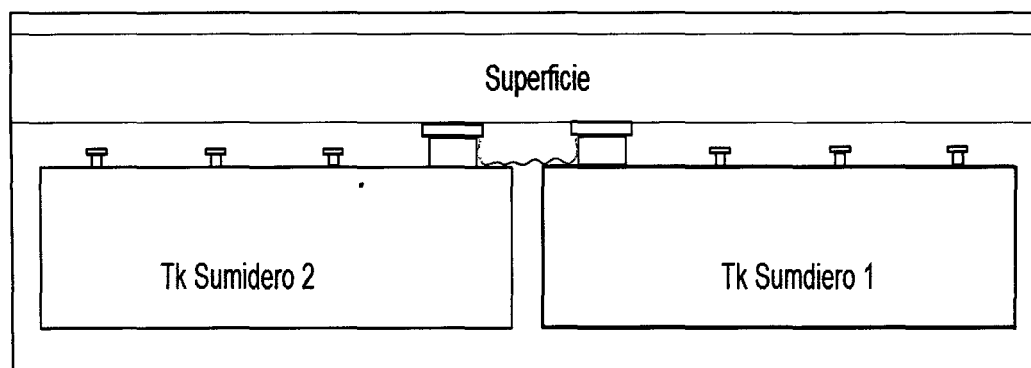


Figura N° 28. Tanques sumideros enterrados

En la tabla N° 6 se hace un resumen de los tanques sumideros con sus respectivas dimensiones.

Tabla N° 6. Especificaciones de los tanques sumideros

TANQUES	Diámetro (Ø)	Longitud (L)	Capacidad (BLS)	Recubrimiento	Años de servicio
Tanque 1	2 m	7.6 m	150	Epóxico Coaltar	10 años
Tanque 2	2 m	7.6 m	150	Epóxico Coaltar	10 años

2.2.2 Medición de potenciales naturales y verificación del estado / tipo de recubrimiento de los tanques sumideros

Para iniciar con los cálculos de sistema de protección, se comenzó al reconocimiento visual del estado superficial, estado y tipo de recubrimiento, aislamiento de los tanques sumideros enterrados, para luego culminar con la medición de los potenciales naturales alrededor de los tanques sumideros respecto al electrodo de cobre – sulfato de cobre (Cu/CuSO₄).

Tabla N° 7. Potenciales y recubrimiento de los tanques sumideros

TANQUES	Potenciales naturales registrados (-mV)					Recubrimiento	
	Norte	Oeste	Sur	Este	Promedio	Tipo	Antigüedad
Tanque 1	528	611	492	516	537	Co-Altar	6 años
Tanque 2	532	610	486	518	536	Co-Altar	6 años

2.2.3 Medición de resistividad del suelo - Método Wenner

Este método utiliza un equipo medidor de la resistencia del suelo (Figura N° 29), y cuatro pines metálicas, enterrados sobre una línea recta y equidistante. La separación entre las varillas equivale a la profundidad de la resistividad promedio del suelo.

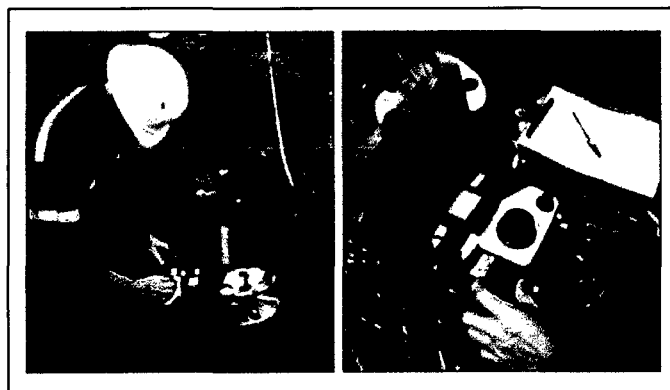


Figura N° 29. Equipo Nilsson 440

Ensayo de campo

Se enterraron cuatro varillas metálicas alrededor de los tanques y se conectaron formando un circuito eléctrico con los polos externos (C1 y C2) a la dos varillas de los extremos a través de las cuales el equipo Nilsson 400 hace pasar una cantidad de corriente calibrada de la fuente de corriente, conectado los dos polos internos (P1 y P2) a las varillas centrales adyacentes, para con esto medir la cantidad de corriente que fluye en una distancia conocida (Figura N° 30). Para registrar la resistencia del suelo, se procedió a multiplicar la lectura de dial por el rango del interruptor de ajuste para obtener la resistencia en ohmio.

Del ensayo la resistencia es: $R = dial \times rango = 1.3 \Omega$

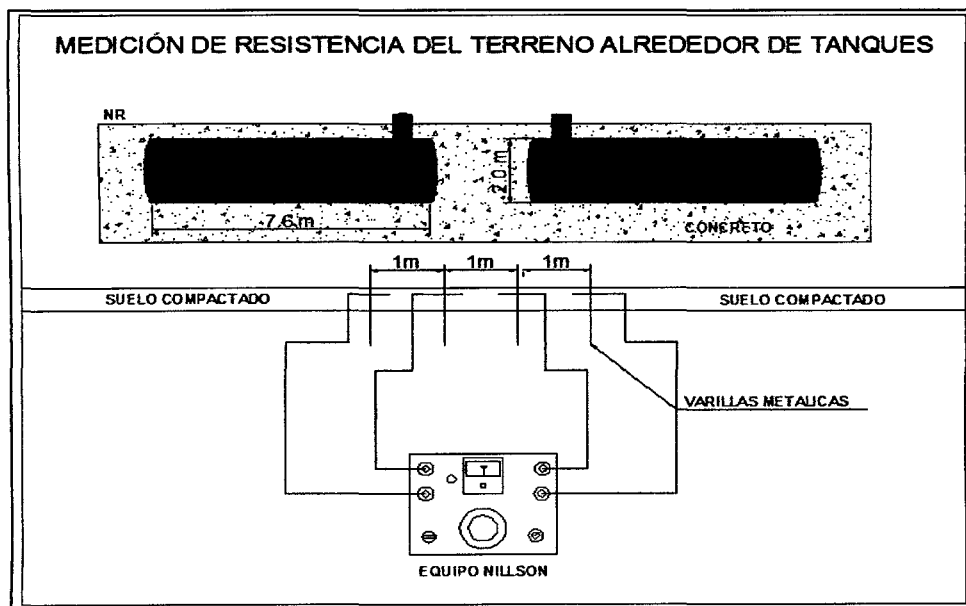


Figura N° 30. Medición de resistividad de suelo en campo

Entonces usando el método Wenner, la resistividad del suelo se determinó por:

$$\rho = 2 \times \pi \times a \times R = 6.28 \times a \times R \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Con "a" distancia de varillas en centímetros y "R" resistencia leída en ohmios

$$\rho = 2 \times 3.14 \times 300cm \times 1.3 \Omega \quad \text{Por tanto la resistividad es } \rho = 2450 \Omega \cdot cm$$

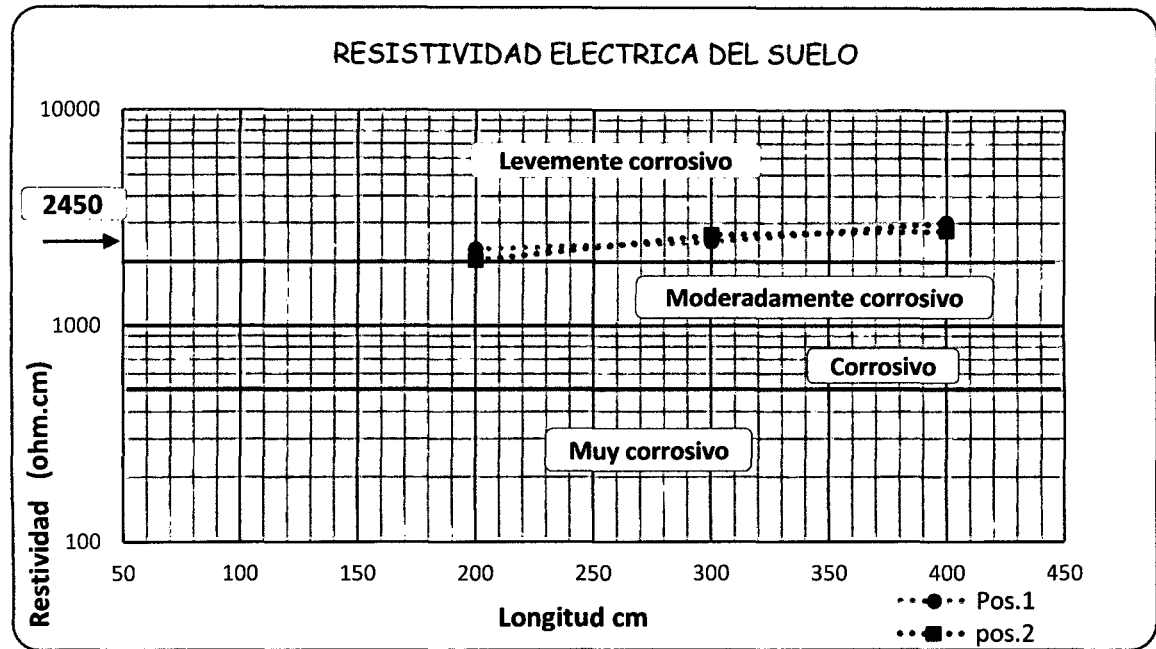


Figura N° 31. Diagrama de la resistividad eléctrica en el suelo

2.2.4 Requerimiento de Corriente experimentalmente

Para la determinación del requerimiento de corriente para proteger los tanques sumideros, utilizamos un suministro de corriente portátil Tinker & Razor modelo CS-10. (Figura N° 25-D)

Ensayo de campo

El procedimiento consistió en instalar el polo negativo del equipo portátil, a los tanques sumideros, y conectado el polo positivo del equipo a una cama de ánodos de sacrificio simulada con varillas metálicas. En el panel de lectura obtenemos la cantidad de corriente que suministra el circuito formando entre el equipo portátil, los tanques, el suelo y la cama de ánodos simulada.

Registrando la corriente requerida por los tanques, se realizó de manera simultánea la medición de potencial tanques – suelo (tabla N°8). Lográndose así, la densidad de corriente necesaria para proteger catódicamente los tanques sumideros o el porcentaje de área descubierta.

Tabla N°8. Corriente requerida experimentalmente

Item	Corriente (A)	Potenciales Medidos(mV)	PROTECCION (> a -850 mV)
1	0.5	-624	No
2	0.8	-710	No
3	1	-780	No
4	1.2	-812	No
5	1.4	-835	No
6	1.5	-860	Si
7	1.6	-885	Si
8	1.7	-910	Si
9	1.8	-948	Si
10	2.02	-986	Si

Donde la densidad de corrientes experimental es: $\rho_c = 2.02 \times 10^3 / 1163.26 = 1.74 \text{ mA/ft}^2$

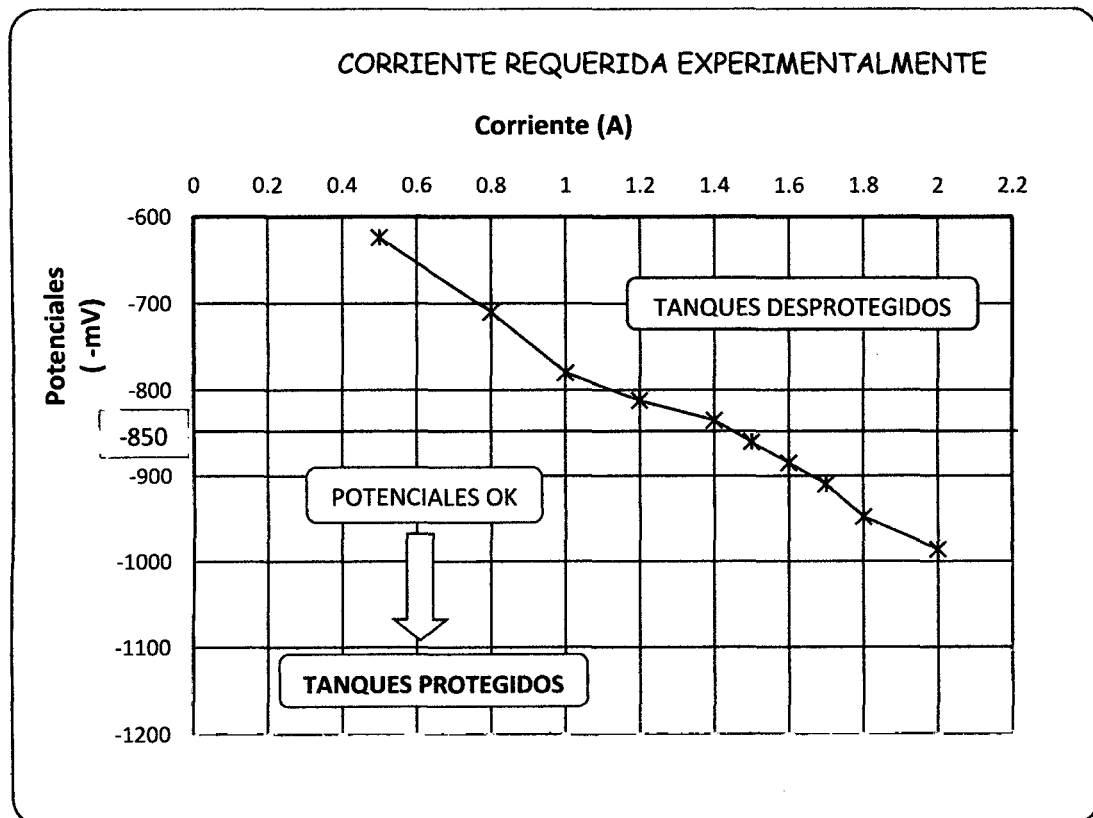


Figura N°32. Perfil de suministro de corriente experimentalmente

2.3 CÁLCULOS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR ÁNODOS GALVÁNICOS

El primero dato en el diseño del sistema protección catódica consistió en calcular las áreas superficiales de cada tanque sumidero que serán protegidas.

2.3.1 Cálculo del área superficial de tanques sumidero

Datos: Diámetro (\varnothing) = 2 m

Longitud (L) = 7.6 m

Áreas del Tanque sumidero 1 y 2:

La superficie de cada tanque será:

$$A_s = \frac{\pi D^2}{4} + \pi DL + \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_s = \frac{3.1416(2)^2}{4} + 3.1416(2)(7.6) + \frac{3.1416(2)^2}{4}$$

$$A_s = 3.1416 + 47.752 + 3.1416$$

$$A_s = 54.035m^2 \sim 581.63 ft^2$$

Para los dos tanques sumideros, la superficie total será de 1163.26 ft²

2.3.2 Requerimiento de Corriente (I_R)

Se estima un deterioro del recubrimiento de protección en 60% y 40% efectivo para los tanques sumideros 1 y 2, estos datos están sujetos al tiempo de servicio y una inspección visual a cada tanque.

La corriente teórica es:

- Densidad de corriente teórica (**Acero al desnudo**): 2.5 mA/ft²
- Densidad de corriente teórica (**Acero recubierto**): 0.2 mA/ft²

Los valores fueron tomados de referencia de (curso CP4; especialista en protección catódica tabla 2.5 valores típicos de corriente requerida). Ver anexo 6.

La corriente total requerido para los tanques sumideros será:

$$I_R = \%Deterioro \times \rho_{corr.} \times Area \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Tanque 1

$$I_{R1} = \frac{60}{100} \times \frac{2.5mA}{ft^2} \times 581.63ft^2 = 872.45 mA \sim 0.87 A$$

$$I_{R2} = \frac{40}{100} \times \frac{0.2mA}{ft^2} \times 581.633ft^2 = 46.53 mA \sim 0.05 A$$

$$I_{Tanque 1} = 0.92 A$$

Tanque 2

$$I_{R1} = \frac{60}{100} \times \frac{2.5mA}{ft^2} \times 581.633ft^2 = 872.45 mA \sim 0.87 A$$

$$I_{R2} = \frac{40}{100} \times \frac{0.2mA}{ft^2} \times 581.633ft^2 = 46.53 mA \sim 0.05 A$$

$$I_{tanque 2} = 0.92 A$$

Por lo tanto el requerimiento de corriente eléctrica para la protección catódica de los tanques sumideros enterrados 1 y 2 será:

$$I_{tanque 1-2} = 1.84 A$$

Tabla N° 9. Área y corriente requerida por los tanques sumideros

DESCRIPCION	Área superficial (ft ²)	Requerimiento de corriente (A)	Densidad de corriente teórico (mA/ft ²)
Tanque sumidero 1	581.633	0.92	1.58
Tanque sumidero 2	581.633	0.92	1.58

Por lo tanto la densidad de corriente teórica es:

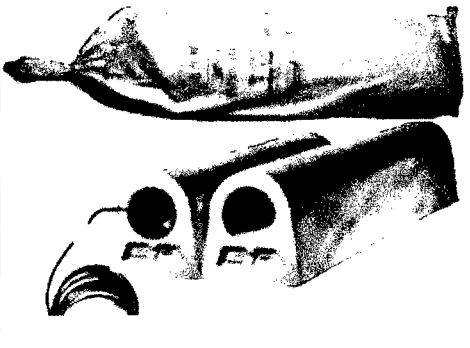
$$\rho_c = 1.84 \times 10^3 / 1163.26$$

$$\rho_c = 1.58 \text{ mA/ft}^2$$

2.3.3 Características y tipo de ánodos requeridos

Para nuestro sistema de protección catódica por ánodos galvánicos se utilizó ánodos de Magnesio pre empacado, debido a la aplicación y por ser ideales para proteger estructuras enterradas, se detallan a continuación.

Tabla N° 10. Características de ánodos de Magnesio

Tipo de ánodos Mg		
Longitud	70 cm)	
Diámetro	20.3 cm	
Eficiencia	50-58%	
Masa con backfill	32 Lb	
Tipo de cable	# 12 AWG THWN	
Longitud de cable	10 ft	

Fuente: www.galvotec.com

2.3.4 Cálculo de los ánodos en función de la masa anódica vs el tiempo

La cantidad de ánodos de magnesio estará dada por:

$$N_A = \frac{W_{\text{requerido Mg}}}{W_{\text{ánodo Mg}}} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Dónde: N_A : número de ánodos

$W_{\text{ánodo Mg}}$: peso de ánodo de magnesio (32Lb)

Tanque 1:

A continuación se calcula la cantidad de magnesio requerida para suministrar 4 años a un drenaje de corriente ya calculado será:

$$W_{\text{requerido Mg.}} = t \times I \times v_c$$

Dónde t : Tiempo (4 años)

I : Intensidad de corriente (0.92 A)

v_c : Velocidad de consumo teórico (17.5 Lb/ A- año). Anexo tabla 5

$$W_{\text{requerido Mg.}} = (4 \text{ años} \times 0.92 \text{ A}) \times (17.5 \text{ Lb/A} - \text{año})$$

$$W_{\text{req.}} = 64.4 \text{ Lb}$$

Aplicando un factor de utilización de 85% y un 50% de eficiencia para el magnesio. Anexo tabla 5, el requerimiento de peso teniendo en cuenta este ajuste es de:

$$W_{\text{requerido Mg}} = (64.4 \text{ Lb}) / (0.85 \times 0.5) = 151.53 \text{ Lb}$$

Reemplazando en (Ec. 2.3)

$$N_A = \frac{151.53 \text{ Lb}}{32 \text{ Lb}} = 4.74 \sim 5$$

Se requerirán cinco ánodos de magnesio.

Tanque 2:

Del mismo modo la cantidad de magnesio requerida para suministrar 4 años a un drenaje de corriente será determinado:

$$W_{\text{requerido Mg.}} = t \times I \times v_c$$

Dónde t: Tiempo (4 años)

I: Intensidad de corriente (0.92 A)

v_c : Velocidad de consumo teórico (17.5 Lb/ A- año). Anexo tabla 5

$$W_{requerido Mg.} = (4 \text{ años} \times 0.92 \text{ A}) \times (17.5 \text{ Lb/A} - \text{año})$$

$$W_{req.} = 64.4 \text{ Lb}$$

Aplicando el factor de utilización de 85% y un 50% de eficiencia, el requerimiento de peso teniendo en cuenta este ajuste es de:

$$W_{requerido Mg} = (64.4 \text{ Lb}) / (0.85 \times 0.5) = 151.53 \text{ Lb}$$

Reemplazando en (Ec.2.3)

$$N_A = \frac{151.53 \text{ Lb}}{32 \text{ Lb}} = 4.73 \sim 5$$

Se requerirán cinco ánodos de magnesio.

Realizados los cálculos se determinó el requerimiento de 10 ánodos de magnesio para la instalación del sistema de protección catódica por ánodos galvánicos

2.3.5 Drenaje de Corriente por Ánodo

Una alternativa para estimar la cantidad de ánodos, es en función al drenaje de corriente de cada ánodo, esto dependerá de la resistencia del terreno y la configuración de los ánodos a instalar.

Utilizando la ley de OHM tenemos:

$$\text{Ley de OHM: } V = I \times R \rightarrow I = \frac{V}{R}$$

Dónde V : Voltaje eléctrico (V)

I: intensidad de corriente (A)

R: Resistencia eléctrica (ohm)

$$I_{ANODO} = \frac{POT. ANODO A CKTO ABIERTO - POT.POLARIZACION DE TK}{R_{ANODO POSIC.VERTICAL}}$$

Formula de DWIGHT

$$R_{AV} = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \times \left[\ln \left(\frac{8 \times L}{D} \right) - 1 \right]$$

Dónde

ρ : Resistividad ($\Omega \cdot \text{cm}$): **1500**

L: Longitud de ánodo (cm)

D: Diámetro de ánodo (cm)

R_{AV} : Resistencia de ánodo

Por disposición se utilizarán ánodos de 32Lbs, considerar L: 70cm y D: 20.3cm y en cuanto al valor de resistividad se logró modificando el medio (compactación de suelo mezclado con backfill e hidratación).

$$R_{AV} = \frac{1500 \Omega \cdot \text{cm}}{2 \times 3.1416 \times 70 \cdot \text{cm}} \times \left[\ln \left(\frac{8 \times 70 \text{ cm}}{20.3 \text{ cm}} \right) - 1 \right]$$

$$R_{AV} = 7.903 \Omega$$

$$\therefore I_{ANODO} = \frac{1.75 \text{ V} - 0.85 \text{ V}}{7.093 \Omega} = 0.114 \text{ A/ánodo}$$

Entonces los ánodos requeridos son:

$$\text{Número de ánodos requeridos} = \frac{I_{RT} \text{ intensidad requerida}}{I_{Anodo} \text{ drenaje de corriente}}$$

|

Tanque sumidero 1

$$\text{Número de ánodos requeridos} = \frac{0.92 \text{ A}}{0.114 \text{ A}} = 8 \text{ ánodos Mg 32Lb}$$

Tanque sumidero 2

$$\text{Número de ánodos requeridos} = \frac{0.92 \text{ A}}{0.114 \text{ A}} = 9 \text{ ánodos Mg 32Lb}$$

Si la resistividad de nuestro terreno es muy alto ($>2500 \text{ ohm}\cdot\text{cm}$) se requerirá muchos ánodos de magnesio a instalar.

2.4 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR ÁNODOS GALVANICOS

De acuerdo a la memoria de cálculo y la disposición de material se instalaron 10 ánodos de magnesio de 32Lb, estos se enterraron bajo suelo a 1.5m de profundidad y su distribución alrededor de los tanques fue de acuerdo al mejor drenaje de corriente (Figura N° 33). Luego todos los cables de los ánodos se conectaron a un cable colector, la conexión es realizada con terminales de cobre y recubiertos con cinta aislante. Este cable colector es dirigido a una estación de prueba, que tendrá contacto por medio de una barra cobre al otro cable colector que es soldado a una de las tapas de los tanques.

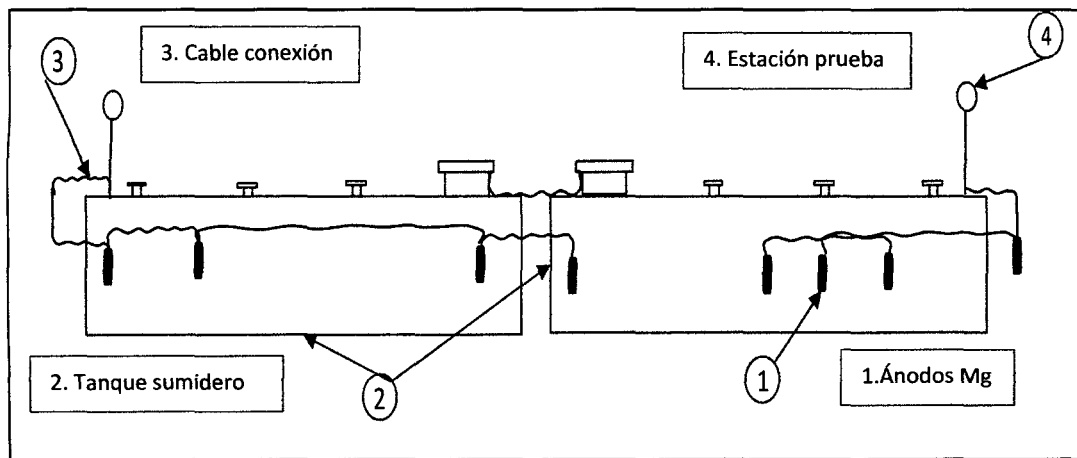


Figura N° 33. Instalación de ánodos de magnesio

2.5 MONITOREO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR ÁNODOS GALVANICOS

Las mediciones de los potenciales entre el tanque y electrolito se realizaron utilizando un voltímetro marca Fluke (Figura N° 34), conectándose el terminal positivo a la estación de prueba y el negativo al electrodo de Cu/CuSO_4 , que a su vez estuvo conectado con el electrolito. En la figura N° 35, se puede observar los puntos de medición en los tanques sumideros enterrados.



Figura N°34. Medición de potenciales en campo

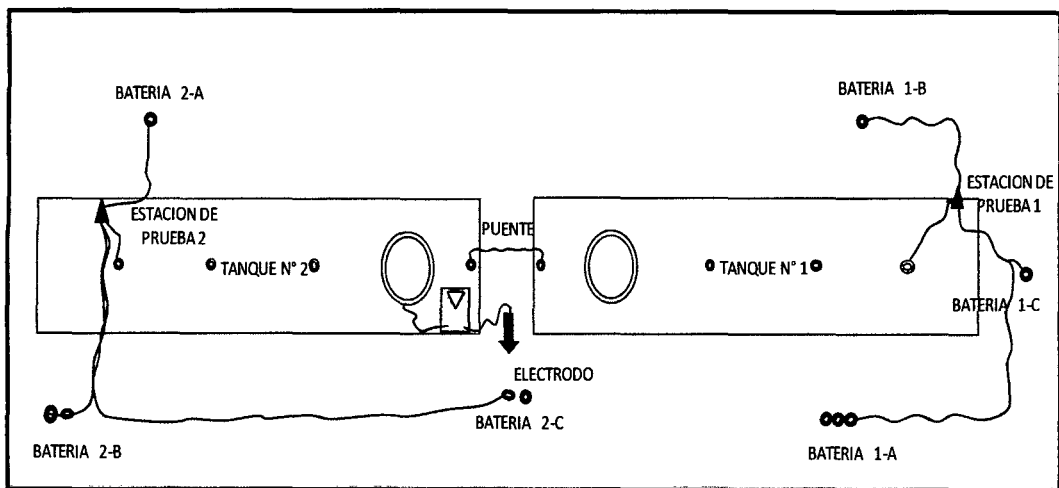


Figura N° 35. Esquema de planta de monitoreo del sistema de ánodos galvánicos

En la tabla N° 11, se muestra los valores monitoreo con el sistema de protección catódica por ánodos galvánicos a los tanques sumideros enterrados

Tabla N° 11. Monitoreo de potencial con ánodos de magnesio de 32Lb

TANQUES	Potencial alrededor de los tanques sumideros (-mV)				
	Norte	Oeste	Sur	Este	Promedio
Tanque 1	896	1006	920	968	948
Tanque 2	918	984	897	956	939

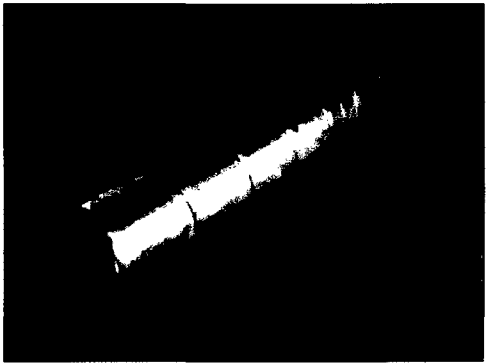
2.6 CÁLCULOS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA

En el caso del presente trabajo se detalla el estudio de la instalación del sistema de protección catódica por corriente impresa, como alternativa, para mejorar los requerimientos de corriente por los tanques sumideros.

2.6.1 Características y tipo de ánodos requeridos

Para nuestro sistema se seleccionó ánodos de MMO tubulares, puesto que trabajan más eficientes en camas horizontales y verticales. En la Tabla N° 12 se detallan a continuación.

Tabla N° 12. Características de ánodos de MMO

Tipo de ánodos MMO		
Longitud	60" (150 cm)	
Diámetro	3" (7.62 cm)	
Drenaje de corriente	1 A	
Vida útil	20 años	
Masa unitaria	22 Lb	
Tipo de cable	# 8 HMWPE	
Longitud de cable	5 ft	

Fuente: www.ceranode.com

2.6.2 Requerimiento de Corriente de Protección

Según los ensayos realizados con un rectificador de corriente portátil Tinker & Razor modelo CS-10, se determinó el requerimiento de corriente real y se calculó la densidad de corriente (Tabla N°13), a continuación.

Tabla N° 13. Valor de corriente estimado experimentalmente

ESTRUCTURA	RECUBRIMIENTO (ESTIMADO SIN PROTECCION CATODICA)	Corriente (I)	PROTECCION	DENSIDAD DE CORRIENTE CALCULADA (mA/ft ²)
Tanque 1-2	Co Altar-Epoxy C-200 AL 40%	2.02 A	EXTERNA	1.74
	Sin recubrimiento o recubrimiento deteriorado al 60 %			

2.6.3 Números de ánodos requeridos

Estará en función del requerimiento de corriente de cada tanque sumidero entre la capacidad de drenaje de corriente de los ánodos de MMO seleccionados:

Entonces los ánodos requeridos son:

$$\text{ánodos requeridos} = \frac{I_{RT} \text{ intensidad requerida}}{I_{\text{Anodo}} \text{ drenaje de corriente}}$$

- **Tanque sumidero 1**

$$\text{ánodos requeridos} = \frac{0.92 \text{ A}}{1 \text{ A}} = 1 \text{ ánodo}$$

- **Tanque sumidero 2**

$$\text{ánodos requeridos} = \frac{0.92 \text{ A}}{1 \text{ A}} = 1 \text{ ánodo}$$

Para nuestro sistema a instalar se utilizó 4 ánodos de MMO con la finalidad de no tener problemas de demanda de corriente a futuro, como adición de más tanques sumideros.

2.6.4 Selección de Rectificador

Para nuestro sistema como fuente de poder continua, se empleó un rectificador de tipo estándar enfriado por aire. Ver Tabla N° 15.

a) Capacidad de rectificador

La elección está en función del requerimiento de corriente para los dos tanques sumideros, la que se determinó por la Ley de Ohm:

Ley de Ohm:

$$V_{PC} = I_{requerido} \times R_{sistema} \quad \text{Ec. (21)}$$

Donde:

V_{PC} : Voltaje de protección catódica

Además las

$$R_{sist} = R_{Lecho} + R_{cable} \quad \text{Ec. (22)}$$

Donde:

R lecho: Resistencia anódica a distancia con respecto a la estructura

R cable: Resistencia ofrecida por el cable

Resistencia anódica a distancia se define como la resistencia eléctrica que ofrece la zona activa hacia la estructura, esta resistencia se calcula a partir de la formula

Shunde:

Formula de **SHUNDE** para la determinación de la resistencia del lecho anódico

$$R_{AV} = \frac{\rho}{2 \times \pi \times N \times L} \times \left[\ln \left(\frac{8 \times L}{D} \right) - 1 + \frac{2 \times L}{s} \times \ln(0.656N) \right]$$

Donde:

R_{AV} : Resistencia del lecho anódico

N : Número de ánodos

D : Diámetro de ánodo

L : Longitud de ánodo

S : Separación entre ánodo

$$R_{AV} = \frac{2500 \Omega \cdot cm}{2 \times \pi \times 4 \times 152.4cm} \left[\ln\left(\frac{8 \times 152.4cm}{7.62cm}\right) - 1 + \frac{2 \times 152.4cm}{1000 cm} \times \ln(0.656 \times 4) \right]$$

$$R_{AV} = 2.8518 \Omega$$

Para la resistencia ofrecida por el cable (R_{cable}) nos dirigimos a la Tabla N° 14 la cual denota las propiedades de la resistencia eléctrica por unidad de longitud para los diferentes tamaños de cables generalmente usados. Esta se define como la sumatoria de las siguientes variables:

Finalmente la resistencia del cableado se puede calcular como:

$$R_{cable} = R_{cable/\acute{a}nodos} + R_{cable/tanques}$$

Donde:

$R_{cable/\acute{a}nodos}$, resistencia del cableado de los ánodos hasta el rectificador

$R_{cable/tanques}$, resistencia del cableado desde las conexiones con el tanque hasta el rectificador

$$R_{cable} = RL_{\acute{a}nodos-tk} + RL_{tk}$$

$$R_{cable} = 1.83 \times 10^{-3} \frac{\Omega}{m} \times 60m + 1.83 \times 10^{-3} \frac{\Omega}{m} \times 25m$$

$$R_{cable} = 0.1464 \Omega$$

Reemplazando en la Ec. 21

$$V_{PC} = 2.02A \times (2.8518 + 0.1464)\Omega$$

$$V_{PC} = 2.02 A \times 2.9982\Omega$$

$$V_{PC} = 6.06 V$$

Para garantizar la capacidad de nuestro rectificador para su adquisición, instalación y funcionamiento correcto a futuro, se sugiere un factor de seguridad de 50 %.

Por tanto: $V_{PC} = 6.06V * 1.5V = 9.09 V$

En el mercado no se encuentra con un rectificado de 10V, sino con un rectificador de capacidad de 20 V/20 A motivo por el que se empleó.

2.7 INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA

Los trabajos de instalación del sistema de protección catódica por corriente impresa se realizaron en las instalaciones de Batería 9 de la empresa Pluspetrol Norte, desarrollando las siguientes actividades.

2.7.1 Instalación de Ánodos

Los resultados de las resistividades tomadas en campo para localizar los lechos anódicos, muestran niveles de un terreno levemente corrosivo, lo que facilitaría el trabajo de descarga de corriente del ánodo lo cual resulta en una adecuada protección.

Los ánodos de MMO instalados son del tipo tubular con dimensiones 3" ϕ x 60" L con 5 ft de longitud de cable HMWPE calibre 8 AWG los cuales serán acoplados a un cable troncal NYY N° 8 AWG. Los ánodos se instalaron en posición vertical a una profundidad mínima de 2.5 m con respecto al punto medio de cada ánodo. Para la conexión eléctrica entre ánodo y cable troncal se utilizarán pernos partidos y será protegido por uniones encapsuladas. Las conexiones realizadas y el cable troncal deben instalarse a una profundidad suficiente para protegerlos contra cualquier daño por accidente. El lecho anódico se ubicó conforme al diagrama presentado. Figura N° 36.

2.7.2 Excavación de zanja y Acometidas Eléctricas

Para instalar el Circuito positivo y negativo se utilizaron cables NYY N°8 AWG, el uso de estos calibres se basa en:

- Capacidad de conducción de corriente.
- Mínima caída de tensión.

La excavación de zanja se realizó a 30cm de ancho por 40cm de profundidad para el tendido de cable. Para este trabajo se empleó una retroexcavadora o una pala.

Las conexiones del cable positivo AWG N° 8 y los cables de los ánodos se utilizaron por conexión Split Bolt los cuales son enroscadas mediante llaves. Además para garantizar la hermeticidad y el aislamiento eléctrico de las uniones “Y” con respecto al ambiente, es necesario protegerlas con resinas epóxica 3M Y90B-1. Las conexiones negativas a los tanques se realizó de manera mecánica (empernadas en orificio de 1 ½” ϕ) y protegidos mediante una conduit flexible de 1” ϕ , este circuito fue al terminal negativo de la unidad rectificadora.

Los cables troncales “positivo y negativo” durante su trayecto enterrado poseerá cinta señalizador; cuyo relleno deberá ser libre de piedras, residuos o materiales que dañe su aislamiento e inspeccionado antes de enterrarse. Finalmente se colocaron carteles de señalización, para indicar la localización de los ánodos y el cable troncal del sistema instalado.

Tabla N° 14. Característica en conductores de cobre a 25°C

Calibre (AWG)	Sección nominal (mm ²)	Resistencia por Longitud (Ω /m)	Máxima capacidad de corriente (A)
8	10	1.83 x 10⁻³	94
6	16	1.15x 10 ⁻³	121
4	25	7.27 x10 ⁻⁴	156
2	35	5.24 x10 ⁻⁴	187

Fuente: Conductores y cables del Perú

2.7.3 Instalación de la unidad Transformadora / Rectificadora (T/R)

Las conexiones del cableado al rectificador deben ser mecánicamente seguras y buenos conductores eléctricos. Se dice que “antes de energizar, deberá verificarse que el conductor negativo esté conectado a la estructura a proteger y el conductor positivo conectado a los ánodos”, así como el rectificador debe estar ajustado en mínima salida.

Tabla N° 15. Característica del Rectificador

Modelo	MESA
Fase	Trifásico
Enfriado por	Aire
Entrada	480 VAC
Frecuencia	60 Hz
Salida	20 V – 20A

Fuente: <http://www.mesaproducts.com/>

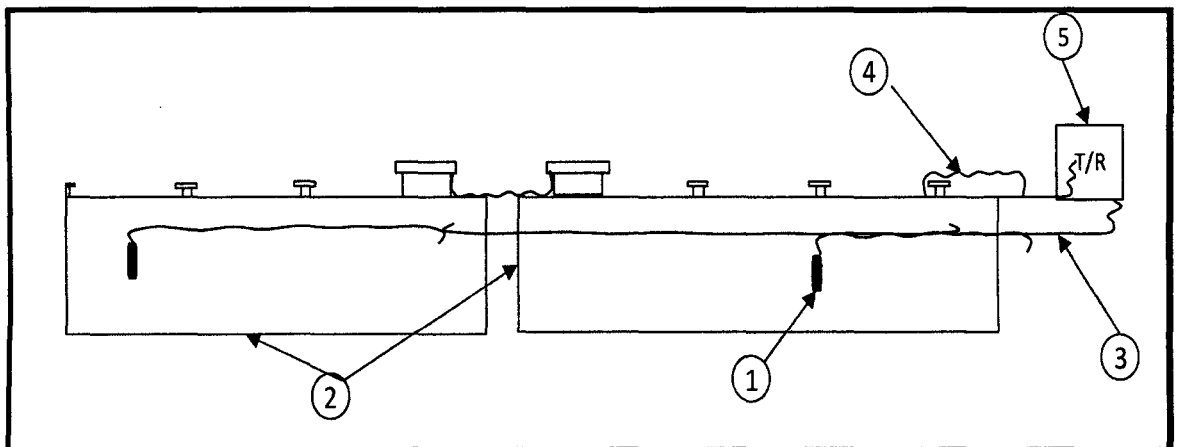


Figura N° 36. Instalación del Ánodos de MMO

2.8 OPERACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA EN LA UNIDAD RECTIFICADORA (T/R)

Terminado la instalación se procedió al ajuste y/o pruebas del rectificador, regulando la cantidad voltaje y corriente que requiere el sistema (Figura N° 38)

Se retiró el seguro y se abrió la cubierta delantera para descubrir el panel del equipo, en la cual se determinó la ubicación del voltímetro (DC), amperímetro (DC), Shunt, Taps de ajuste, llave termo-magnética, terminales positivos y negativos, para luego registrar las lecturas de los valores de operación en el panel; asimismo se contrastaron los valores leídos con un multímetro y pinza amperimétrica.

2.8.1 Registro del voltaje

La lectura visual del voltímetro del panel del rectificador fue verificado con un multímetro (DC) colocando el pin rojo (+) del multímetro a la bornera positiva de la unidad rectificadora y el pin negro (-) a la bornera negativa de la misma unidad, el instrumento debe arrojar un valor positivo igual y/o similar al panel.

2.8.2 Medición de corriente

La lectura visual del amperímetro del panel del rectificador es verificado con una pinza amperimétrica (DC) abrazada a la llegada del cable positivo de la unidad rectificadora, el instrumento debe arrojar un valor positivo igual o similar al panel.

Puede usarse también una resistencia calibrada (shunt), con lo que se mide la caída óhmica a través de una resistencia de valor conocido y luego se calcula la corriente.

2.8.3 Medición de potenciales alrededor de los tanques

Se registraron nuevamente en los mismos puntos iniciales alrededor de los tanques sumideros enterrados (Figura N° 37), los potenciales estructura /suelo con relación al electrodo cobre/sulfato de cobre (Cu/CuSO₄), tratando de obtener el potencial mínimo de protección - 850mV.

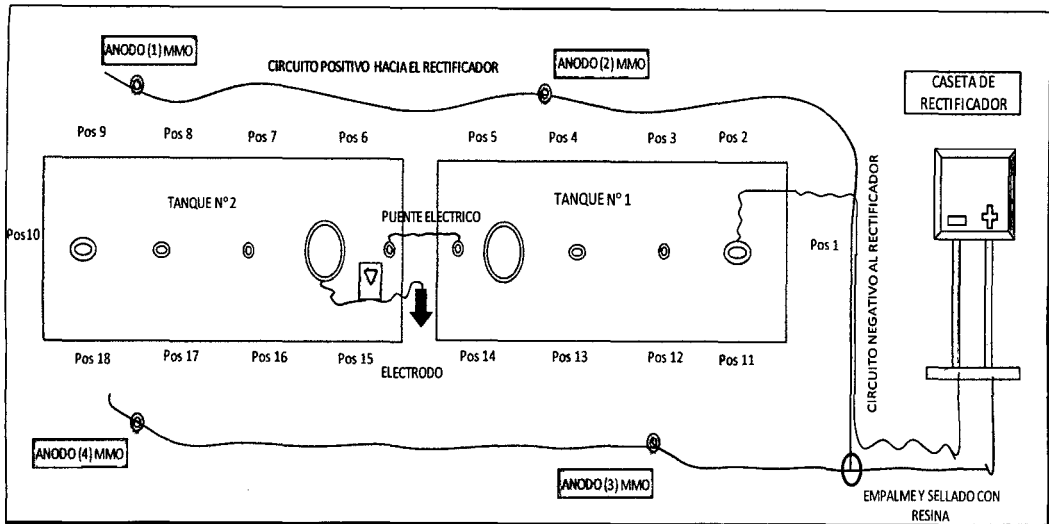


Figura N° 37. Esquema del monitoreo del sistema de corriente impresa



Figura N° 38. Lectura del voltaje y la corriente en la unidad rectificadora

Tabla N° 16. Valores de monitoreo de corriente impresa

TANQUE SUMIDERO					POTENCIAL ALREDEDOR DEL TK (-mV)				
N°	D (Ft)	L (Ft)	Temp °C	N° ánodos	Norte	Oeste	Sur	Este	AVG POTENCIAL (-mV)
1	6.6	24.6	28	2	1023	1119	1071	1062	1069
2	6.6	24.6	30	2	1045	1116	1104	1035	1075

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Introducción

Los ensayos experimentales del presente trabajo se desarrollaron en las instalaciones de la Batería 9 - Pavayacu del Lote 8, operado por la empresa PLUSPETROL NORTE S.A; para ello se contó con una serie de equipos necesarios para la pruebas de campo necesarios para los cálculos, con instrumentos calibrados y certificados para la determinación de los parámetros y condiciones adecuadas para realizar el diseño para la instalación del sistema de protección catódica por corriente impresa.

3.2 Metodología

- 3.2.1 Determinar los potenciales naturales de las estructuras metálicas en estudio (tanques sumideros enterrados).
- 3.2.2 Realizar la prueba de demanda de corriente que requieren los tanques o estructuras a proteger utilizando el suministro de corriente portátil Tinker & Rasor CS - 10.

- 3.2.3 Con el equipo Nilsson 440, determinar la resistividad del suelo para la ubicación de las camas anódicas.
- 3.2.4 Estimación de la cantidad de ánodos de MMO, en función a la corriente requerida por los tanques sumideros.
- 3.2.5 Instalación de los ánodos de MMO en posición vertical de acuerdo a la configuración conveniente para el sistema a instalar (lecho profundo, lecho convencional, etc.)
- 3.2.6 Excavación de zanja para los tendidos de 85m de cable NYY AWG 8 de los circuitos positivo y negativo del sistema de protección catódica.
- 3.2.7 Empalme de los ánodos al cable de circuito positivo y de los tanques sumideros al cable de circuito negativo, finalmente ambos circuito conectados a los terminales positivo y negativo del rectificador del sistema de corriente impresa.
- 3.2.8 Montaje y ajustes de rectificador de 20V/20 A de capacidad, para monitoreo del sistema de protección catódica por corriente impresa.

3.3 Parámetros

Intencionalmente se fijó un año (12 meses) en el control de los parámetros de monitoreo, consistente en mantenimiento, inspección y evaluación anual, de acuerdo a un programa de control de corrosión. Los resultados serán evaluados mediante un tratamiento estadístico simple el cual nos permitirá visualizar el comportamiento de los dos tanques sumideros al inicio de la instalación y puesta en marcha del sistema de protección catódica por el periodo de un año.

En la Tabla N° 17 se reportan los resultados del monitoreo de resistividad, corriente, voltaje y potencial de protección del sistema de protección catódica por corriente impresa dentro del periodo anual (año 2013-2014)

Tabla N° 17 Monitoreo mensual del sistema de protección catódica por corriente impresa en tanque sumidero 1 -2

MES (2013-2014)	resistividad (ohm.cm)	Corriente (A)	Voltaje (v)	Potencial Tk1 (-mV)	Potencial Tk2 (-mV)
Febrero	2450	2.3	2.45	1069	1075
Marzo	2343	2.24	2.4	1053	1054
Abril	2432	2.1	2.51	1072	1071
Mayo	2465	2.2	2.52	1046	1045
Junio	2386	2.4	2.51	1038	1041
Julio	2421	2.32	2.52	1056	1052
Agosto	2358	2.16	2.5	1068	1066
Septiembre	2410	2.18	2.48	1064	1065
Octubre	2432	2.08	2.47	1041	1042
Noviembre	2442	2.12	2.49	1055	1056
Diciembre	2462	2.06	2.5	1076	1074
Enero	2436	2.14	2.508	1078	1077

Obteniendo el resumen estadístico (Tabla N°18) de los datos de monitoreo del sistema de protección catódica por corriente impresa para los tanques sumideros.

Tabla N° 18 Resumen estadísticos de monitoreo de la corriente impresa

Datos Estadísticos	resistividad (ohm.cm)	Corriente (A)	Voltaje (v)	Potencial Tk1 (-mV)	Potencial Tk2 (-mV)
Media (x)	2419.75	2.19	2.49	1059.67	1059.83
Desviación Estándar (S)	39.02	0.105	0.035	13.53	13.20
Mínimo	2341.71	1.98	2.42	1032.60	1033.43
Máximo	2497.78	2.40	2.56	1086.73	1086.24

En la figura N° 39 y 40 se muestra la dispersión grafica de los datos de monitoreo de potencial mensualmente de los tanques sumideros 1 y 2.

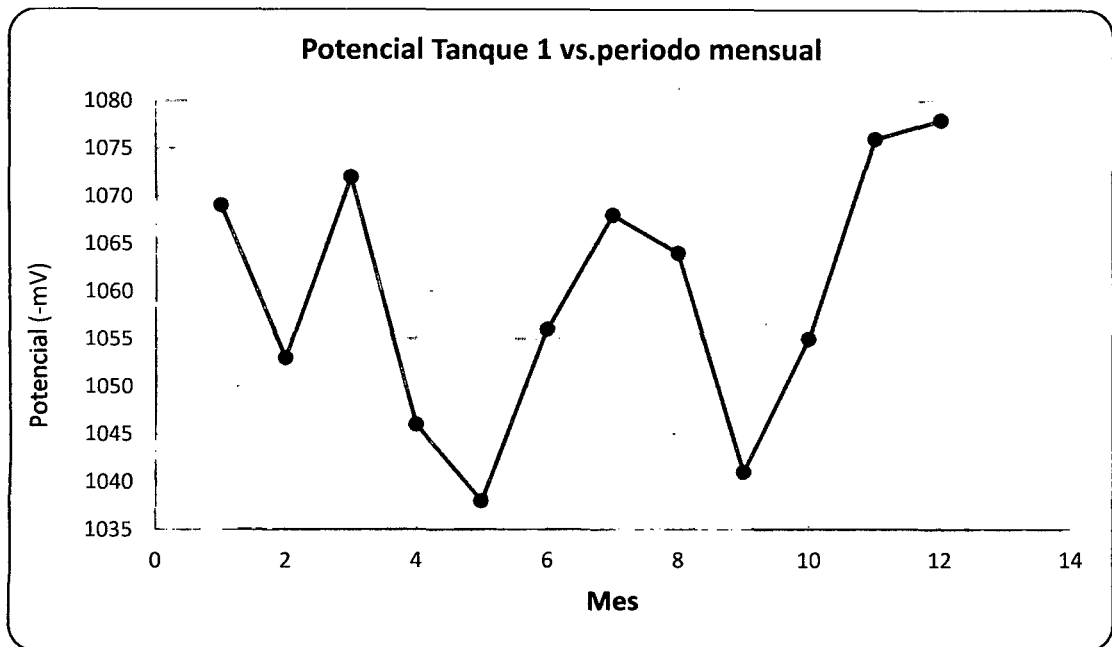


Figura N° 39 Dispersión de potenciales en mili volts tanque 1 durante el periodo

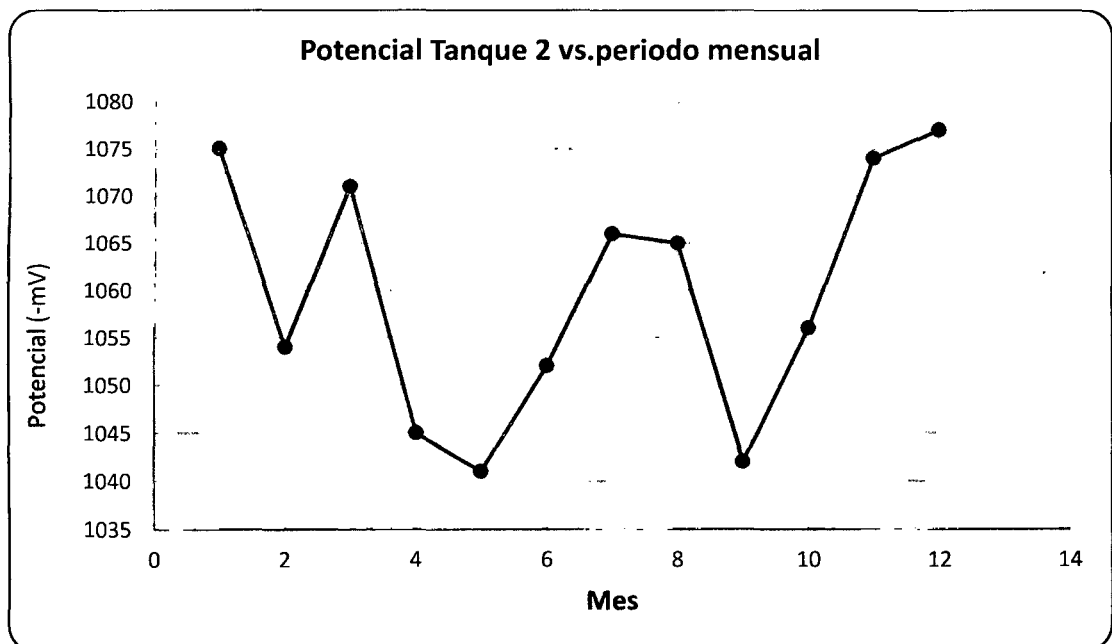


Figura N° 40 Dispersión de potenciales en mili volts tanque 2 durante el periodo

El potencial de protección para el Tanque Sumidero 1(-1069mV) al nivel de confianza del 95 % de los datos experimentales se encuentra dentro del rango de $x \pm 2d$, siendo los límites $-1032.60\text{mV} \leq x \leq 1086.73\text{mV}$; es decir los resultados obtenidos en el monitoreo anual, son resultados confiables y homogéneos según las medidas de dispersión (varianza de 183.15 y de 13.53 de desviación estándar).

El potencial de protección para el Tanque Sumidero 2 (-1075mV) al nivel de confianza del 95 % de los datos experimentales se encuentra dentro del rango de $x \pm 2d$, siendo los límites $-1033.43\text{mV} \leq x \leq 1086.64\text{mV}$; es decir los resultados obtenidos en el monitoreo anual, son resultados confiables y homogéneos según las medidas de dispersión (varianza de 174.33 y de 13.20 de desviación estándar).

En la figura N° 41 se muestra la dispersión grafica de los datos de monitoreo de resistividad eléctrica del suelo mensualmente de los tanques sumideros 1 y 2.

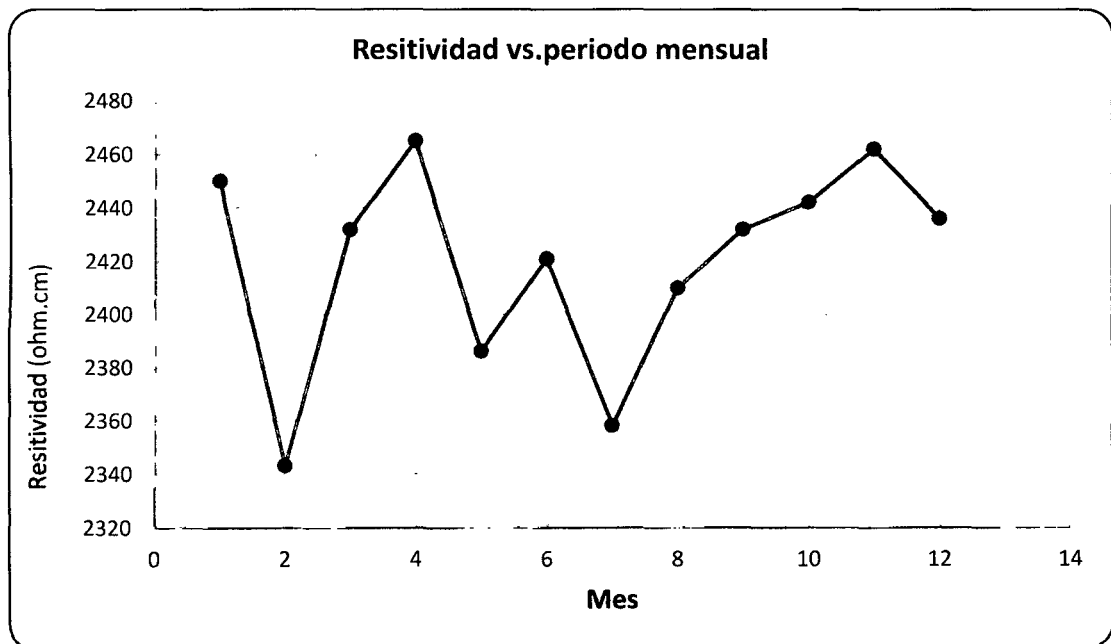


Figura N° 41 Dispersión de resistividad en ohm.cm de la protección catódica durante el periodo

La resistividad para ambos tanques sumideros (2450 ohm.cm) se encuentra dentro del rango de los, siendo los límites $2341.71 \text{ ohm.cm} \leq x \leq 2497.78 \text{ ohm.cm}$; es decir los resultados obtenidos en el monitoreo anual, son resultados confiables y homogéneos según las medidas de dispersión (varianza de 0.035 y de 0.1859 de desviación estándar).

En la figura N° 42 se muestra la dispersión grafica de los datos de monitoreo de la corriente requerida por el sistema mensualmente de los tanques sumideros 1 y 2.

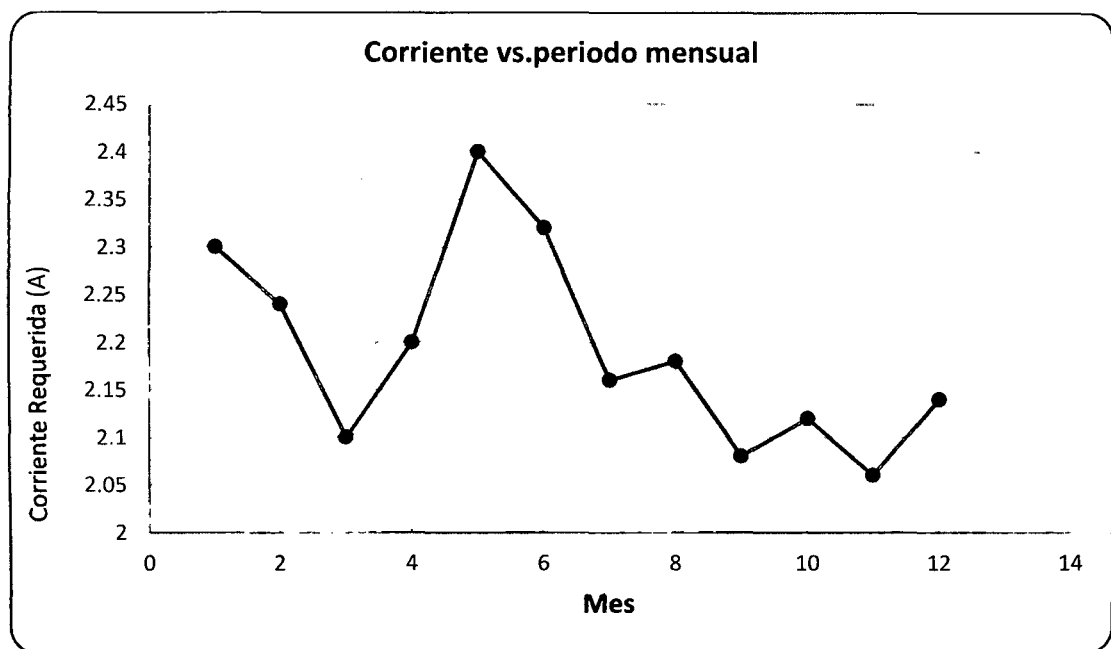
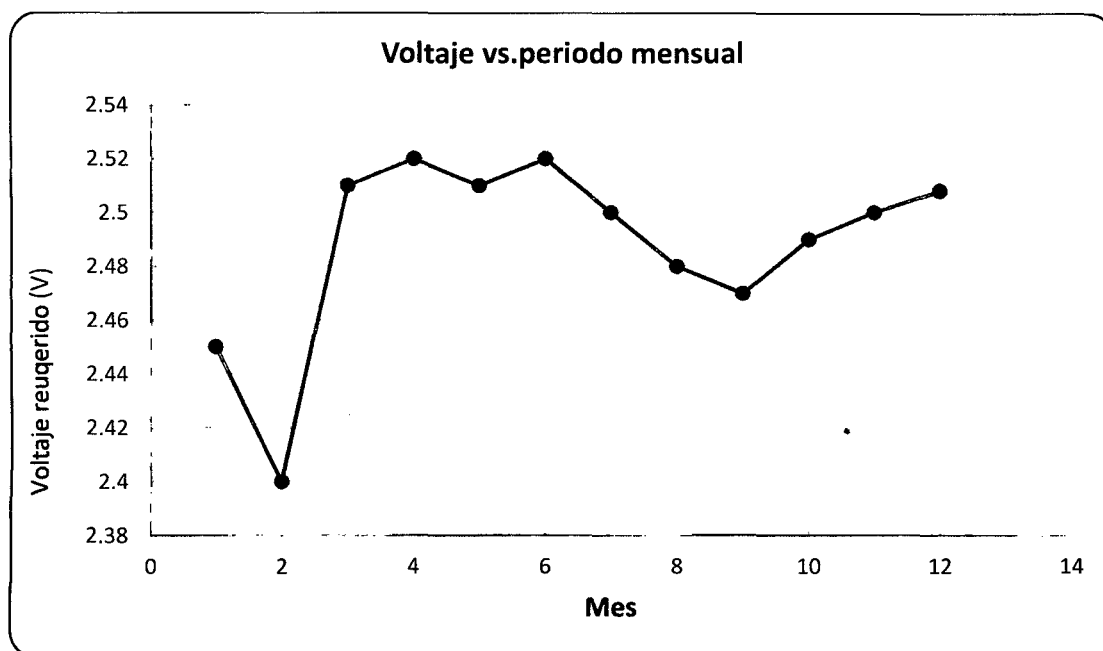


Figura N° 42 Dispersión de corriente en amperes de la protección catódica durante el periodo

La corriente requerida (2.02 A) para ambos tanques sumideros al nivel de confianza del 95 % de los datos experimentales se encuentra dentro del rango de $x \pm 2d$, siendo los límites $1.98 \text{ A} \leq x \leq 2.4 \text{ A}$; es decir los resultados obtenidos en el monitoreo anual, son resultados confiables y homogéneos según las medidas de dispersión (varianza de 0.011 y de 0.105 de desviación estándar).

En la figura N° 43 se muestra la dispersión grafica de los datos de monitoreo del voltaje requerido por el sistema mensualmente de los tanques sumideros 1 y 2.



El voltaje corriente requerido para ambos tanques sumideros 2.5 V al nivel de confianza del 95 % de los datos experimentales se encuentra dentro del rango de $x \pm 2d$, siendo los límites $2.42V \leq x \leq 2.56V$; es decir los resultados obtenidos en el monitoreo anual, son resultados confiables y homogéneos según las medidas de dispersión (varianza de 0.001 y de 0.035 de desviación estándar).

- 3.3.1 En la tabla N° 7 se determinaron los potenciales naturales de los tanques sumideros. El potencial natural sin la protección catódica es de -536.5mV, que está por encima de los -850mV establecido según norma NACE SP 0169-2007, que lo que nos indica que se encuentran propenso a la corrosión y menos tiempo de vida útil.
- 3.3.2 En la página 55 se determinó la resistividad del suelo- método Wenner cuyo valor es 2450 ohm.cm. De acuerdo al diagrama de resistividad eléctrica del suelo se encuentra en la zona de un terreno levemente corrosivo Figura N° 31. Para una resistividad por encima de los 2500 ohm.cm nos demandara mayor cantidad de corriente eléctrica, mayor cantidad de ánodos y por tanto la resistencia es mayor, según NACE Corrosión Básica.
- 3.3.3 El requerimiento de corriente para proteger los tanques sumideros teóricamente es 1.84 A. (página 59) y experimentalmente 2.02A según tabla N° 8, indicándonos un potencial de -986mV que está dentro del potencial sugerido por la norma NACE SP0169-2007 lo que se requiere mayor amperaje de corriente para el caso del estudio figura N° 32 (página 57).
- 3.3.4 Para la protección catódica por ánodos galvánicos, se utilizó 10 ánodos de magnesio con un peso total de 303.06 Lb (página 62) generando un potencial de protección de -943.5mV, para un tiempo estimado de 4 años.
- 3.3.5 El sistema de protección catódica por corriente impresa emplea 02 ánodos de MMO teóricamente (página 67) y experimentalmente se utilizó 4 ánodos de MMO con la finalidad de incrementar la instalación de tanques sumideros en las instalaciones de Pluspetrol Norte Pavayacu – Loreto.

- 3.3.6 La capacidad de la unidad rectificadora empleado por el sistema de protección catódica de corriente impresa requiere 9.05 V (página 65), optando por una unidad rectificadora de capacidad 20V/ 20A disponible en el mercado.
- 3.3.7 Finalmente se describe de forma detallada la instalación puesta en marcha del sistema de protección catódica de corriente impresa por ser el método óptimo en comparación al sistema de protección catódica por ánodos galvánicos.

Evaluación de resultados

- a. SPC por Ánodos Galvánicos
- b. SPC por Corriente Impresa

Tabla (a)	Tanque1	Tanque2
Norte	- 896mV	-918mV
Oeste	-1006mV	-984mV
Sur	-920mV	-897mV
Este	-968mV	-956mV
promedio	- 943. 5mV	

Tabla (b)	Tanque1	Tanque2
Norte	-1023mV	-1045mV
Oeste	-1119mV	-1116mV
Sur	-1071mV	-1104mV
Este	-1062mV	-1035mV
promedio	-1072mV	

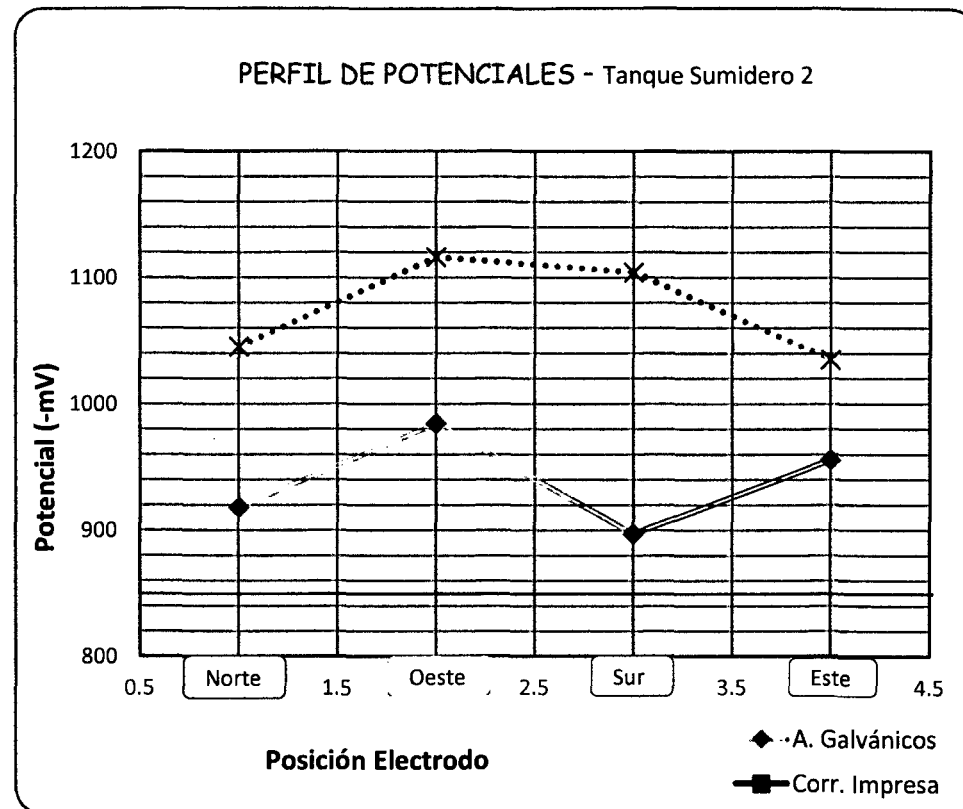
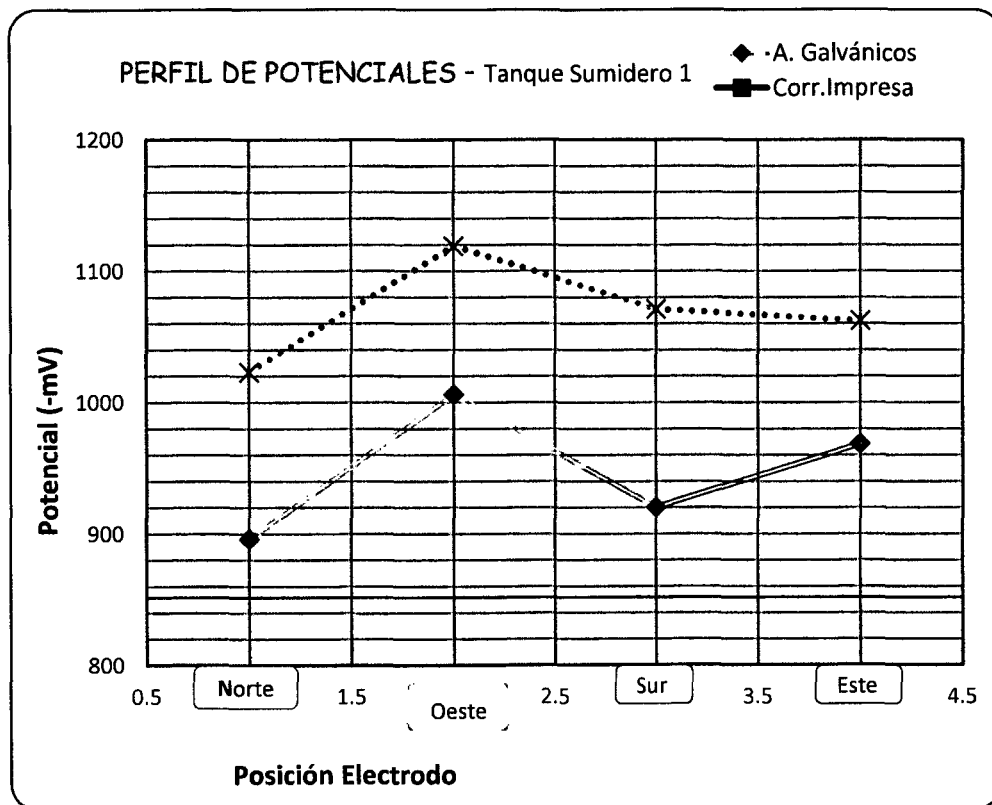


Figura N° 44. Perfil de potenciales con Ánodos galvánicos vs. Corriente impresa

CONCLUSIONES

1. Se logró controlar la corrosión externa de los tanques enterrados por el sistema de protección catódica por corriente impresa con mayor eficiencia en comparación con el sistema de protección por ánodos galvánicos, empleados para la producción de petróleo Pavayacu-Loreto.
2. Con la instalación del sistema de protección catódica por corriente impresa se logró obtener el potencial de -1072mV que son mucho más adecuados a -850mV cumpliendo con esto uno de los criterios establecidos por **NACE SP0169-2007**.
3. Con la instalación y ejecución del sistema de protección catódica por corriente impresa se logró mantener los tanques sumideros enterrados operando en condiciones óptimas y de esta manera se minimizó los gastos por mantenimiento y reemplazo.
4. La corriente de 2.02 A , potencial de 986mV , la resistividad de suelo 2450 Ohm.cm , 4 ánodos de MMO instalados y una capacidad de $20\text{ V}/20\text{ A}$ de la unidad rectificadora seguido de una buena instalación incrementa en 20 años la vida útil de los tanques sumideros enterrados.
5. La ventaja más resaltante del sistema de protección catódica por corriente impresa, es evitar la corrosión externa de los tanques sumideros, a pesar de no contar con revestimiento adecuado y encontrarse en un medio corrosivo.

La desventaja en el sistema de protección catódica por corriente impresa es que cuenta con un costo constante de energía.

RECOMENDACIONES

1. Realizar mediciones de los parámetros de medición del sistema de protección catódica por corriente impresa cada tres meses, para observar, evaluar y corregir su funcionamiento correcto.
2. Realizar la mediciones con equipos certificados y calibrados, para obtener datos correctos de monitoreo.
3. Emplear los equipos de protección personal adecuados para los diversos trabajos de instalación, mantenimiento y monitoreo de los sistemas de protección catódica.
4. Desarrollar trabajos de investigación de sistemas de protección catódica en estructuras metálicas ubicadas en diferentes industrias.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. American Petroleum Institute Corrosion of Oil and Gas well Equipment, second edition, USA- 1990 Página.1
2. BARDAL, Einer. Corrosion and Protection - 2003 Página.237
3. GOMEZ DE LEON HIJES, Félix Cesáreo. Manual básico de corrosión para ingenieros. Universidad de Murcia, España - 2004. Pág. 13
4. NACE International. “Curso de Corrosión Básica”- Manual del Estudiante, 2004 - pág. 1:1
5. NACE Handbook 1. “Forms of Corrosion-Recognition and Prevention”. Vol.1.
6. NACE International. “Protección Catódica Nivel I” - Manual de Enseñanza, 2010 - pág. 3:7; 3:31; 3:32
7. NACE International. “Sesión I del Programa Inspector de Recubrimiento” , 2003 - pág. 15-19
8. PATTON, Charles “Applied Water Technology”- Second Edition Dallas Texas.
9. PEABODY, A. W. (2001) “Peabody’s Control of pipeline corrosion”. Segunda edición. NACE, editado por R. L. Bianchetti, Houston, USA. Pp. 282.
10. RIVERA, Hernán “Corrosión y Protección Ingeniería, Cuernavaca México.
11. VON BAECKMAN, SCHWENK, PRINZ- “Handbook of Cathodic Corrosion Protection”- 3 Edition.

Tesis

- 1- CLAVIJO CÁCERES, Carlos Cesar. Tesis. “Sistemas de protección catódica para tuberías enterradas de transmisión de gas natural. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica.”- Lima, 2014. Pág.
- 2- GIRON CALLEJAS, René Oswaldo. “Protección catódica y su aplicación en tanques de almacenamiento de productos petroleros” Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala - 2005.

- 3- MACINES ROMERO, Carlos Nolberto. Tesis. “Estudio de ampliación de un servicentro con un gasocentro de GLP de uso automotriz de 5 000 galones de capacidad” FIM UNI Lima, Perú 2009.
- 4- MOREANO ALTAMIRANO, Álvaro Vicente. Tesis. “Diseño e instalación de un sistema integral de protección catódica para un tanque de agua de proceso en la industria petrolera” FIMCP ESPL Guayaquil, Ecuador 2005.
- 5- NAVARRETE VALLES, Luis Guillermo. Tesis. “Estudio del desprendimiento catódico de recubrimientos orgánicos aplicados en superficies de acero” FIIS UNP Piura, Perú 2008.
- 6- TRIGO VILLACA, Feliciano. Informe de Suficiencia. “Diseño de un sistema de protección catódica para un tanque clarificador de salmuera de 2064 m³” FIM UNI Lima, Perú 2003.
- 7- VALLEJO FIGUEROA, Julio Cesar. Tesis. “Conocimiento y Prevención de la Corrosión” Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala 2006. Pág. 7

Páginas de internet

- <http://www.farwestcorrosion.com/wire-anodes-in-prepacked-canister-lida-mmo-by-denora.html/>
- <http://www.mesaproducts.com/>
- <http://www.ceper.com.pe/>
- <http://www.fluke.com/fluke/pees/products/Multimetros-Digitales.htm>



**“SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA
PARA CONTROL DE CORROSIÓN EXTERNA DE TANQUES
SUMIDEROS ENTERRADOS USADOS EN LA PRODUCCION DE
PETROLEO - LORETO”**

ANEXOS

ANEXO 1

INDICES DE RIESGOS PARA TANQUES ENTERRADOS		
Ítem	FACTOR DE RIESGO	PUNTAJE
A	Tanque Metálico con protección catódica según API RP 1632, de fibra de vidrio o metálico de doble pared.	0
	Metálico con revestimiento asfáltico o pintura epóxica interior y/o exterior, metálico con revestimiento de fibra de vidrio.	1
	Metálico sin protección catódica o revestimiento asfáltico o pintura epóxica interior y/o exterior o revestimiento de fibra de vidrio	2
B	El tanque es: Nuevo	0
	Usado	4
C	Existencia de agua subterránea a nivel del tanque No presenta	0
	Presenta	1
	Variable	1
D	Resistividad específica del suelo Mayor a 10 000 ohm/cm	0
	Entre 10 000 y 5 000 ohm/cm	1
	Entre 5 000 y 2 300 ohm/cm	2
	Entre 2 300 y 1 000 ohm/cm	3
	Menor a 1 000 ohm/cm	4
E	Clase de suelo Tiza o arena	0
	Greda, arena gredosa, o arena arcillosa	1
	Arena limosa	2
	Arcilla, tierra vegetal	4
	Cieno, fango o suelo pantanoso	5
F	Humedad del suelo Menor a 20%	0
	Mayor o igual a 20%	1
G	Valor de pH del suelo pH mayor que 7 (básico)	0
	pH menor que 7 (ácido)	1
H	Contenido de cloruros del suelo Menos a 100 mg/Kg	0
	Entre 100 y 350 mg/Kg	1
	Mayor de 350 mg/Kg	2
I	Contenido de Sulfatos del suelo Menor a 200 mg/Kg	0
	Entre 200 y 500 mg/Kg	1
	Entre 500 y 100 mg/Kg	2
	Mayor a 1000 mg/Kg	3
J	Existencia de ríos cercanos a menos de 1Km	

	No Si	0 2
K	Existencia de agua de mar cercanos a menos de 200 m No Si	0 4
L	Existencia de pozos de agua potable a menos de 1Km No Si	0 2
M	Existencia de edificaciones cercanas a los STE a menos de 50 m No Si	0 1
N	Antigüedad del tanque De 0 a 5 años De 5 a 10 años De 10 a 15 años De 15 a 20 años De 20 a 25 años D 25 a 30 años	0 1 2 3 4 5

Nota: Cuando no se disponga de información con respecto a alguno de los índices, se deberá considerar al máximo puntaje del índice correspondiente.

ANEXO 2

EDAD	PUNTAJE (índice de riesgo)			
	Hasta 12	de 13 a 20	21 a 27	Mayor o igual a 28
0 a 15 años	Cada 5 años	Cada 3 años	Cada 1 año	Retirar/ Reparar/ Reemplazar
De 15 a 25 años	Cada 3 años	Cada 2 años	Retirar/ Reparar/ Reemplazar	Retirar/ Reparar/ Reemplazar
De 25 a 30 años	Cada 2 años	Cada 1 año	Retirar/ Reparar/ Reemplazar	Retirar/ Reparar/ Reemplazar
Mayores de 30 años	Retirar/ Reparar/ Reemplazar	Retirar/ Reparar/ Reemplazar	Retirar/ Reparar/ Reemplazar	Retirar/ Reparar/ Reemplazar

ANEXO 3

MATRIZ DE ACCIÓN DE TANQUES NUEVOS FRECUENCIA DE MONITOREO				
Tipo de Tanque	PUNTAJE (índice de riesgo)			
	Hasta 12	de 13 a 20	21 a 27	Mayor o igual a 28
Tanque metálico con revestimiento asfáltico	Cada 5 años	Cada 3 años	Cada 1 año	Cada 1 año
Tanque metálico revestido y con ánodos de sacrificio	Cada 7 años	Cada 5 años	Cada 3 años	Cada 1 año
Tanque metálico con revestido con fibra de vidrio	Cada 10 años	Cada 7 años	Cada 5 años	Cada 3 años
Tanque de fibra de vidrio	Cada 12 años	Cada 10 años	Cada 10 años	Cada 10 años
Tanque metálico con doble pared	Cada 15 años	Cada 15 años	Cada 15 años	Cada 15 años

ANEXO 4

Normas Internacionales de NACE para la Aplicación de Protección Catódica	
RP0169	Control de Corrosión Externa en Sistemas de Tuberías Metálicas Enterradas o Sumergidas
RP0176	Control de la Corrosión para Plataformas Offshore Fijas Asociadas con la Producción de Petróleo
RP0180	Protección Catódica de Sistemas de Tratamiento de Efluentes en la Industria del Papel
RP0186	Aplicación de Protección Catódica para Well Casings (tubos camisa de pozos)
RP0193	Protección Catódica Externa de Fondo de Tanques de Almacenamiento Metálicos a Nivel (AST)
RP0196	Protección Catódica con Ánodos Galvánicos de Superficie Internas de Tanques de Acero para el Almacenamiento de Agua.
RP0285	Control de Corrosión en Sistemas de Tanques de Almacenamiento Enterrados Mediante Protección Catódica.
RP0290	Protección Catódica de Acero Reforzado en Estructuras de Hormigón con Exposición Atmosférica
RP0388	Protección Catódica por Corriente Impresa en Superficies Sumergidas de Tanques de Acero para el Almacenamiento de Agua
RP0575	Sistemas de Protección Catódica Internos en Recipientes para Tratamiento de Petróleo (Oil Treating Vessel)

5.3.3 New External Coating System Qualification

5.3.3.1 The purpose of this method is to qualify a new external coating material by subjecting it to laboratory tests appropriate for the intended service. After laboratory tests have been conducted and indicate that the external coating system appears to be suitable, application and installation are conducted in accordance with recommended practices. In-service field performance tests are made to confirm the success of the previous steps. The steps of the method are (1) laboratory tests, (2) application under recommended practices, (3) installation under recommended practices, and (4) in-service field performance tests. If good results are obtained after five years, only Steps 2 and 3 are required thereafter.

5.3.3.1.1 Applicable sections of Tables 3 and 4 are recommended for the initial laboratory test methods.

5.3.3.1.2 Applicable sections of Tables 1 and 2 are recommended for conditional use during Steps 2 and 3.

5.3.3.1.3 During a period of five years or more, the use of the evaluation methods given in Table 5, Item 1 or 2 are recommended. The test method in Item 3 may be used as a supplementary means for obtaining data for correlation with laboratory tests.

5.3.4 Method for Evaluating an External Coating System by In-Service Field Performance Only

5.3.4.1 The purpose of this method is to qualify an external coating system when none of the first three methods given in Paragraph 5.3 has been or will be used. It is intended that this method should be limited to minor pilot installations.

5.3.4.1.1 The use of at least one of the first two methods given in Table 5 is recommended on the basis of at least one investigation per year for five consecutive years.

Section 6: Criteria and Other Considerations for CP

6.1 Introduction

6.1.1 This section lists criteria and other considerations for CP that indicate, when used either separately or in combination, whether adequate CP of a metallic piping system has been achieved (see also Section 1, Paragraphs 1.2 and 1.4).

6.1.2 The effectiveness of CP or other external corrosion control measures can be confirmed by visual observation, by measurements of pipe wall thickness, or by use of internal inspection devices. Because such methods sometimes are not practical, meeting any criterion or combination of criteria in this section is evidence that adequate CP has been achieved. When excavations are made for any purpose, the pipe should be inspected for evidence of corrosion and coating condition.

6.1.3 The criteria in this section have been developed through laboratory experiments or verified by evaluating data obtained from successfully operated CP systems. Situations in which a single criterion for evaluating the effectiveness of CP may not be satisfactory for all conditions may exist. Often a combination of criteria is needed for a single structure.

6.1.4 Sound engineering practices shall be used to determine the methods and frequency of testing required to satisfy these criteria.

6.1.5 Corrosion leak history is valuable in assessing the effectiveness of CP. Corrosion leak history by itself, however, shall not be used to determine whether adequate levels of CP have been achieved unless it is impractical to make electrical surveys.

6.2 Criteria

6.2.1 It is not intended that persons responsible for external corrosion control be limited to the criteria listed below. Criteria that have been successfully applied on existing piping systems can continue to be used on those piping systems. Any other criteria used must achieve corrosion control comparable to that attained with the criteria herein.

6.2.2 Steel and Cast Iron Piping

6.2.2.1 External corrosion control can be achieved at various levels of cathodic polarization depending on the environmental conditions. However, in the absence of specific data that demonstrate that adequate CP has been achieved, one or more of the following shall apply:

6.2.2.1.1 A negative (cathodic) potential of at least 850 mV with the CP applied. This potential is measured with respect to a saturated copper/copper sulfate reference electrode contacting the electrolyte. Voltage

drops other than those across the structure-to-electrolyte boundary must be considered for valid interpretation of this voltage measurement.

NOTE: Consideration is understood to mean the application of sound engineering practice in determining the significance of voltage drops by methods such as:

6.2.2.1.1.1 Measuring or calculating the voltage drop(s);

6.2.2.1.1.2 Reviewing the historical performance of the CP system;

6.2.2.1.1.3 Evaluating the physical and electrical characteristics of the pipe and its environment; and

6.2.2.1.1.4 Determining whether or not there is physical evidence of corrosion.

6.2.2.1.2 A negative polarized potential (see definition in Section 2) of at least 850 mV relative to a saturated copper/copper sulfate reference electrode.

6.2.2.1.3 A minimum of 100 mV of cathodic polarization between the structure surface and a stable reference electrode contacting the electrolyte. The formation or decay of polarization can be measured to satisfy this criterion.

6.2.2.2 Special Conditions

6.2.2.2.1 On bare or ineffectively coated pipelines when long-line corrosion activity is of primary concern, the measurement of a net protective current at predetermined current discharge points from the electrolyte to the pipe surface, as measured by an earth current technique, may be sufficient.

6.2.2.2.2 In some situations, such as the presence of sulfides, bacteria, elevated temperatures, acid environments, and dissimilar metals, the criteria in Paragraph 6.2.2.1 may not be sufficient.

6.2.2.2.3 When a pipeline is encased in concrete or buried in dry or aerated high-resistivity soil, values less negative than the criteria listed in Paragraph 6.2.2.1 may be sufficient.

6.2.2.3 PRECAUTIONARY NOTES

6.2.2.3.1 The earth current technique is often meaningless in multiple pipe rights-of-way, in high-resistivity surface soil, for deeply buried

pipe, in stray-current areas, or where local corrosion cell action predominates.

6.2.2.3.2 Caution is advised against using polarized potentials less negative than -850 mV for CP of pipelines when operating pressures and conditions are conducive to stress corrosion cracking (see references on stress corrosion cracking at the end of this section).

6.2.2.3.3 The use of excessive polarized potentials on externally coated pipelines should be avoided to minimize cathodic disbondment of the coating.

6.2.2.3.4 Polarized potentials that result in excessive generation of hydrogen should be avoided on all metals, particularly higher-strength steel, certain grades of stainless steel, titanium, aluminum alloys, and prestressed concrete pipe.

6.2.3 Aluminum Piping

6.2.3.1 The following criterion shall apply: a minimum of 100 mV of cathodic polarization between the structure surface and a stable reference electrode contacting the electrolyte. The formation or decay of this polarization can be used in this criterion.

6.2.3.2 PRECAUTIONARY NOTES

6.2.3.2.1 Excessive Voltages: Notwithstanding the minimum criterion in Paragraph 6.2.3.1, if aluminum is cathodically protected at voltages more negative than -1,200 mV measured between the pipe surface and a saturated copper/copper sulfate reference electrode contacting the electrolyte and compensation is made for the voltage drops other than those across the pipe-electrolyte boundary, it may suffer corrosion as the result of the buildup of alkali on the metal surface. A polarized potential more negative than -1,200 mV should not be used unless previous test results indicate that no appreciable corrosion will occur in the particular environment.

6.2.3.2.2 Alkaline Conditions: Aluminum may suffer from corrosion under high-pH conditions, and application of CP tends to increase the pH at the metal surface. Therefore, careful investigation or testing should be done before applying CP to stop pitting attack on aluminum in environments with a natural pH in excess of 8.0.

6.2.4 Copper Piping

6.2.4.1 The following criterion shall apply: a minimum of 100 mV of cathodic polarization between the structure surface and a stable reference electrode contacting the electrolyte. The formation or decay of this polarization can be used in this criterion.

6.2.5 Dissimilar Metal Piping

6.2.5.1 A negative voltage between all pipe surfaces and a stable reference electrode contacting the electrolyte equal to that required for the protection of the most anodic metal should be maintained.

6.2.5.2 PRECAUTIONARY NOTE

6.2.5.2.1 Amphoteric materials that could be damaged by high alkalinity created by CP should be electrically isolated and separately protected.

6.3 Other Considerations

6.3.1 Methods for determining voltage drop(s) shall be selected and applied using sound engineering practices. Once determined, the voltage drop(s) may be used for correcting future measurements at the same location, provided conditions such as pipe and CP system operating conditions, soil characteristics, and external coating quality remain similar. (Note: Placing the reference electrode next to the pipe surface may not be at the pipe-electrolyte interface. A reference electrode placed at an externally coated pipe surface may not significantly reduce soil voltage drop in the measurement if the nearest coating holiday is remote from the reference electrode location.)

6.3.2 When it is impractical or considered unnecessary to disconnect all current sources to correct for voltage drop(s) in the structure-to-electrolyte potential measurements, sound engineering practices should be used to ensure that adequate CP has been achieved.

6.3.3 When feasible and practicable, in-line inspection of pipelines may be helpful in determining the presence or absence of pitting corrosion damage. Absence of external corrosion damage or the halting of its growth may indicate adequate external corrosion control. The in-line inspection technique, however, may not be capable of detecting all types of external corrosion damage, has limitations in its accuracy, and may report as anomalies items that are not external corrosion. For example, longitudinal seam corrosion and general corrosion may not be readily detected by in-line inspection. Also, possible thickness variations, dents, gouges, and external ferrous objects may be detected as corrosion. The appropriate use of in-line inspection must be carefully considered.

6.3.4 Situations involving stray currents and stray electrical gradients that require special analysis may exist. For additional information, see Section 9, "Control of Interference Currents."

6.4 Alternative Reference Electrodes

6.4.1 Other standard reference electrodes may be substituted for the saturated copper/copper sulfate reference electrode. Two commonly used reference electrodes are listed below along with their voltage equivalent (at 25°C [77°F]) to -850 mV referred to a saturated copper/copper sulfate reference electrode:

6.4.1.1 Saturated KCl calomel reference electrode: -780 mV; and

6.4.1.2 Saturated silver/silver chloride reference electrode used in 25 ohm-cm seawater: -800 mV.

6.4.2 In addition to these standard reference electrodes, an alternative metallic material or structure may be used in place of the saturated copper/copper sulfate reference electrode if the stability of its electrode potential is ensured and if its voltage equivalent referred to a saturated copper/copper sulfate reference electrode is established.

Bibliography for Section 6

Criteria for Copper

Schwerdtfeger, W.J. "Criteria for Cathodic Protection—Highly Resistant Copper Deteriorates in Severely Corrosive Soil." *Materials Protection* 57, 9 (1968): p. 43.

Criteria for Aluminum

BS CP 1021 (latest revision). "Code of Practice for Cathodic Protection." London, England: BSI.⁽³⁾

DIN30 676 (latest revision). "Design and Application of Cathodic Protection of External Surfaces." Berlin, Germany: DIN

⁽³⁾ British Standards Institution (BSI), British Standards House, 389 Chiswick High Road, London W4 4AL, United Kingdom.

ANEXO 5

CARACTERÍSTICAS DE ÁNODOS DE SACRIFICIO							
Ánodos	Velocidad de consumo teórico		Capacidad teórica		E	U	Potencial
	Kg/A-año	Kg/A-año	A-año/kg	A-año/Lb	%	%	(-V)
Magnesio	7.97	17.5	0.13	0.06	50	85	1.75
Zinc	11.9	26.2	0.08	0.04	90	85	1.10
Aluminio	3.46	7.63	0.29	0.13	85	85	1.10

REFERENCIA: CP 3-NACE; CATHODIC PROTECTION TECHNOLOGIST, TABLA 2.10 y 2.11

ANEXO 6

DENSIDAD DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CATÓDICA PARA UNA TUBERÍA O ESTRUCTURA DE ACERO SIN RECUBRIMIENTO (Dsr)		
DESCRIPCION	RANGO (mAmp./ft ²)	
Suelo estéril, neutro	0.4	1.5
Suelo neutro bien aireado	2.0	3.0
Suelo seco bien aireado	0.5	1.5
Suelo húmedo, condiciones moderadas/severas	2.5	6
Suelo altamente ácido	5.0	15.0
Suelo que favorece la presencia de bacterias sulfuro-reductoras	42.0	42.0
Suelo recalentado (por ej., línea de descarga de agua caliente)	5.0	25.0
Hormigón seco	0.5	1.5
Hormigón húmedo	5.0	25.0
Agua dulce estancada	5.0	5.0
Agua dulce en movimiento	5.0	6.0
Agua dulce muy turbulencia y alto contenido de oxígeno disuelto	5.0	15.0
Agua caliente	5.0	15.0
Agua estuaria contaminada	50.0	150.0
Agua de mar	5.0	25.0
Soluciones con productos químicos, ácidos o alcalinas, en tks de proceso	5.0	25.0
Cajas de agua de intercambiadores de calor con placas y tubos no ferrosos	125.0	125.0

REFERENCIA: CP-4-NACE; CATHODIC PROTECTION SPECIALIST, TABLA 2.5: PAG. 2:24

Nota: 10.76 es el factor para cambiar la densidad de corriente mAmp/m² a mAmp/ft²

ANEXO 7

LISTA DE MATERIALES PARA EL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR ÁNODOS GALVANICOS		
ITEM	DESCRIPCION	CANT
1	Ánodos de Magnesio 32 Lb, preempacado	10
2	Conector tubular cerrado N°10	10
3	Cable solido NYY N° 8 AWG	40
4	Cinta aislante	2
5	Cinta Vulcanizante	2
6	Soldadura Cadweld	2
7	Tubería Flexible ¾ diámetro	10

ANEXO 8

LISTA DE MATERIALES PARA EL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA		
ITEM	DESCRIPCION	CANT
1	Ánodos de MMO TUBULARES	4
2	Split Bolt	5
3	Splice kits 3M 90 B-1	5
4	Cable solido NYY N° 8 AWG	70
5	Cinta aislante	2
6	Cinta Vulcanizante	2
7	Rectificador de protección catódica	1
8	Tubería Flexible ¾ diámetro	10

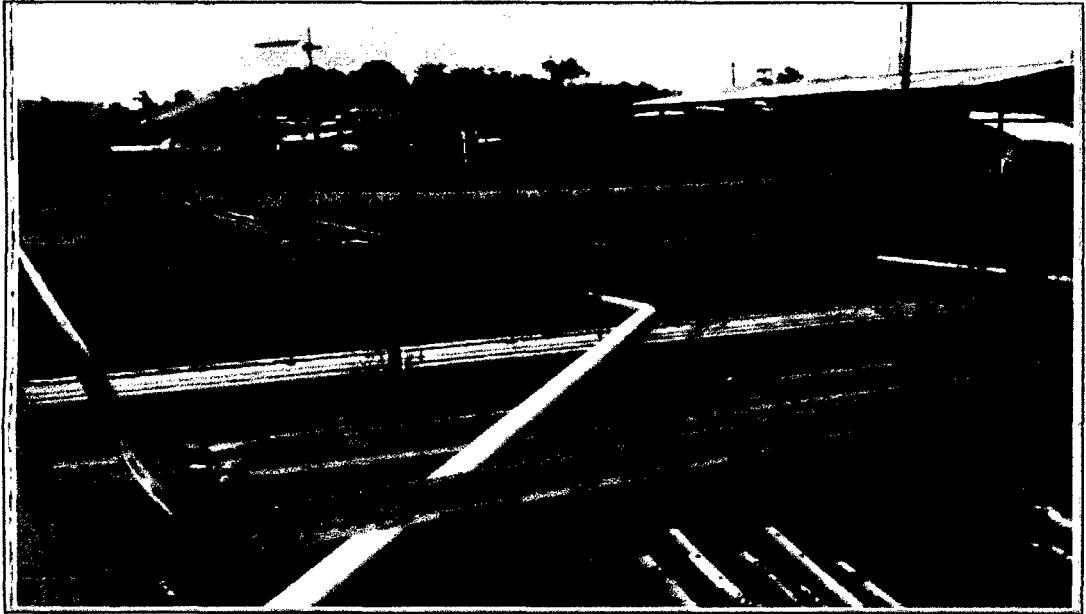


REGISTRO FOTOGRAFICO

INTALACION DE LA PROTECCION CATODICA EN TANQUES SUMIDEROS

Demarcación de área a trabajar

Foto N° 1



Proceso de perforación

Foto N° 2



Colocación de ánodos

Foto N° 3



Tendido de conductor

Foto N° 4



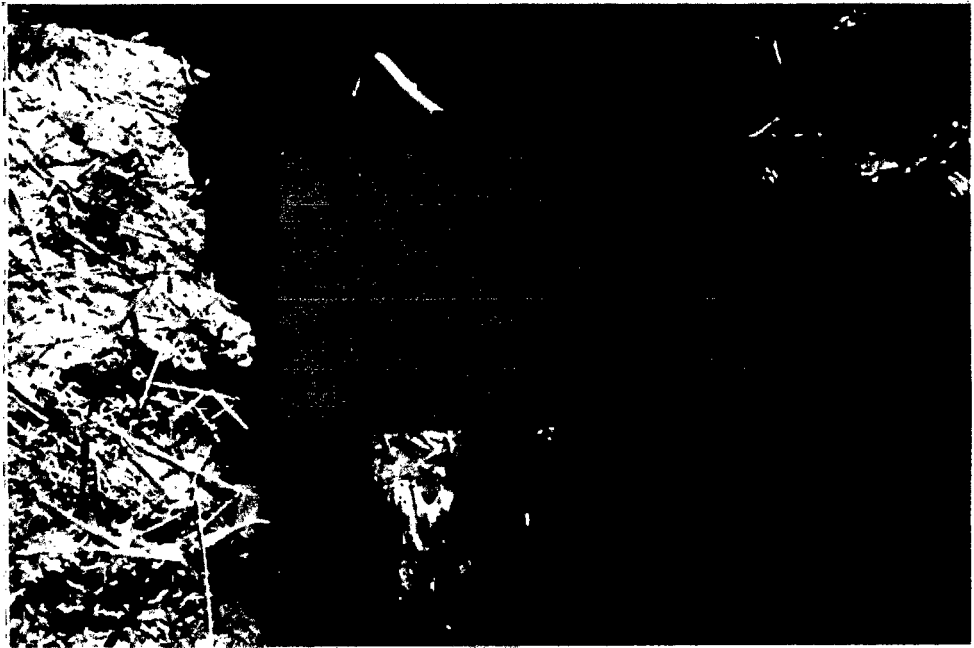
Empalme con pernos partidos

Foto N° 5



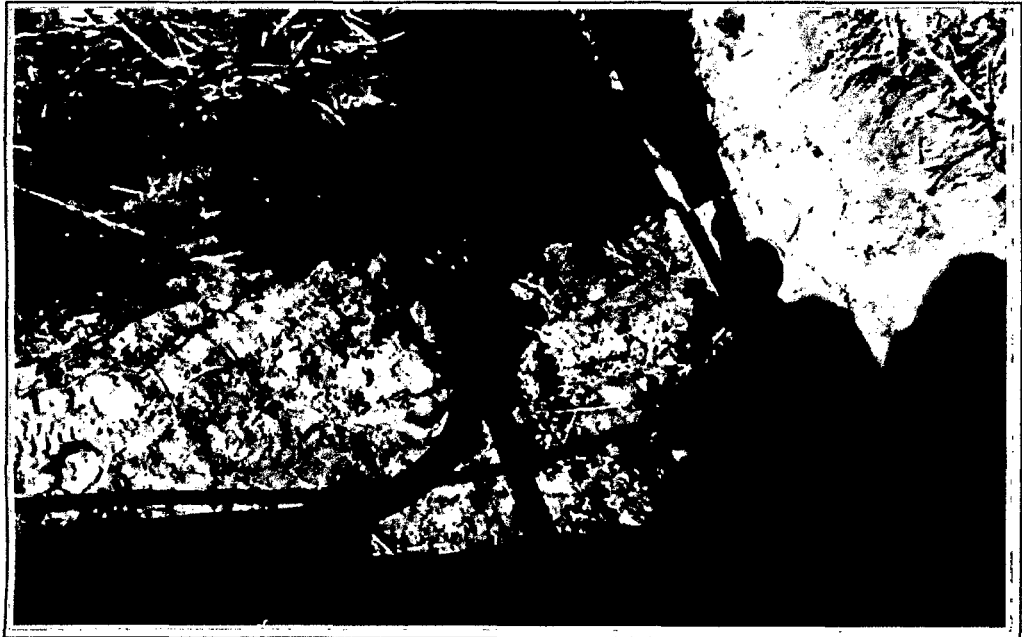
Resina epóxica usada en los empalmes de cables

Foto N° 6



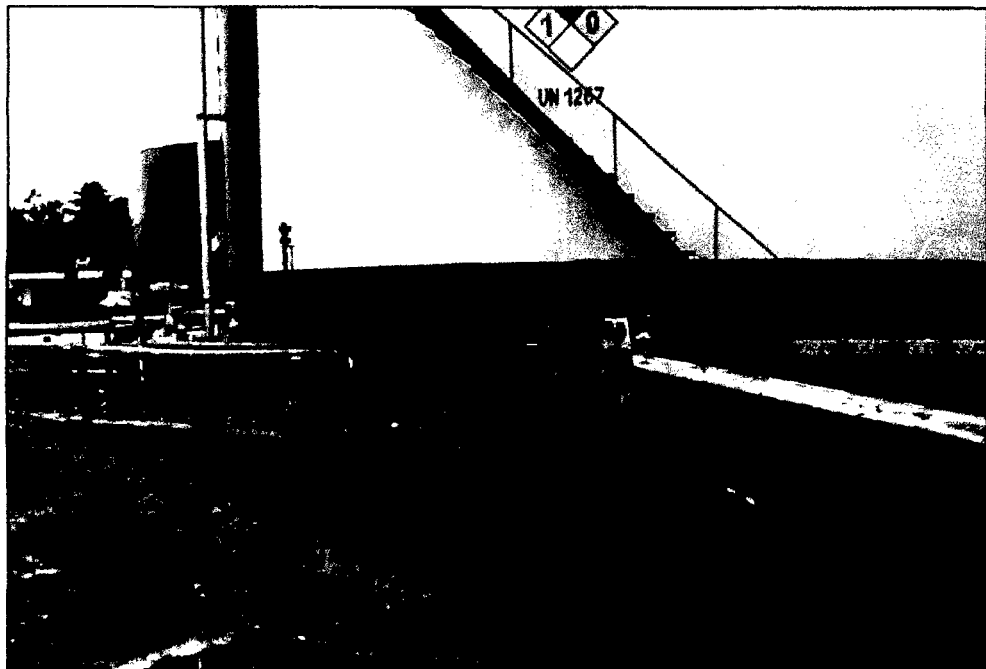
Acabado de empalme

Foto N° 7



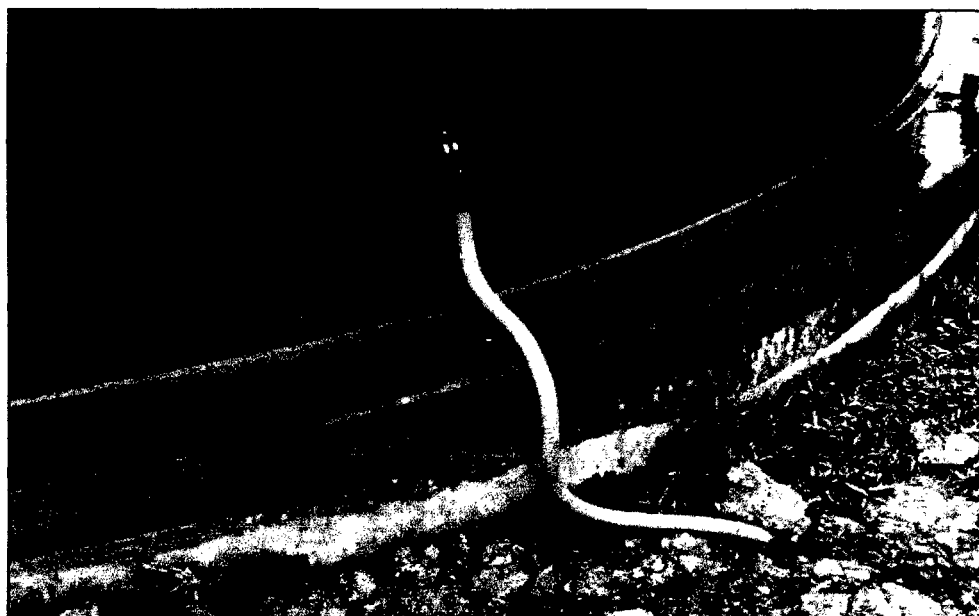
Relleno de zanja

Foto N° 8



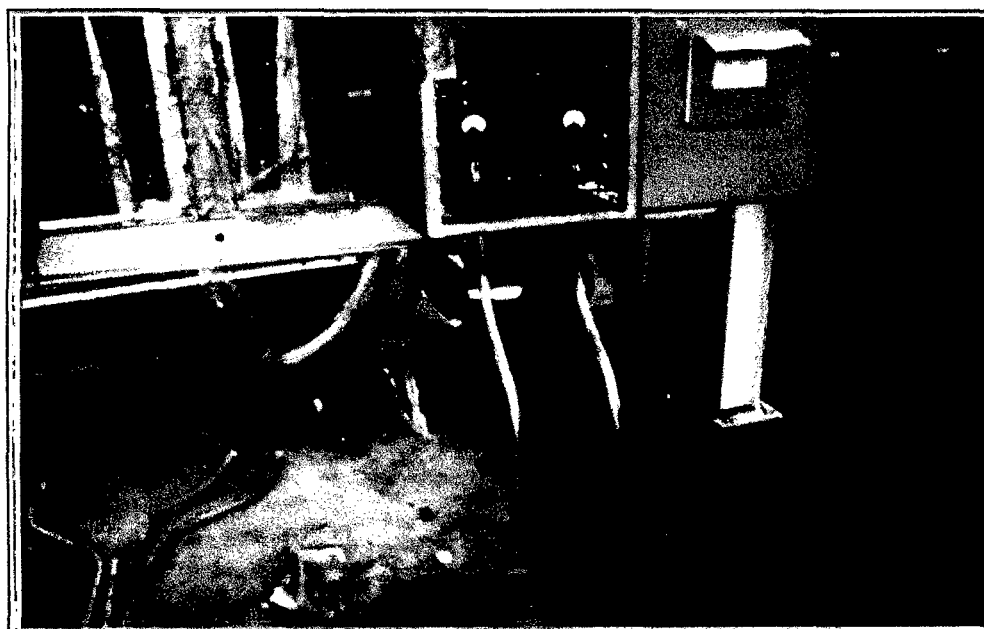
Conexión de negativo

Foto N° 9



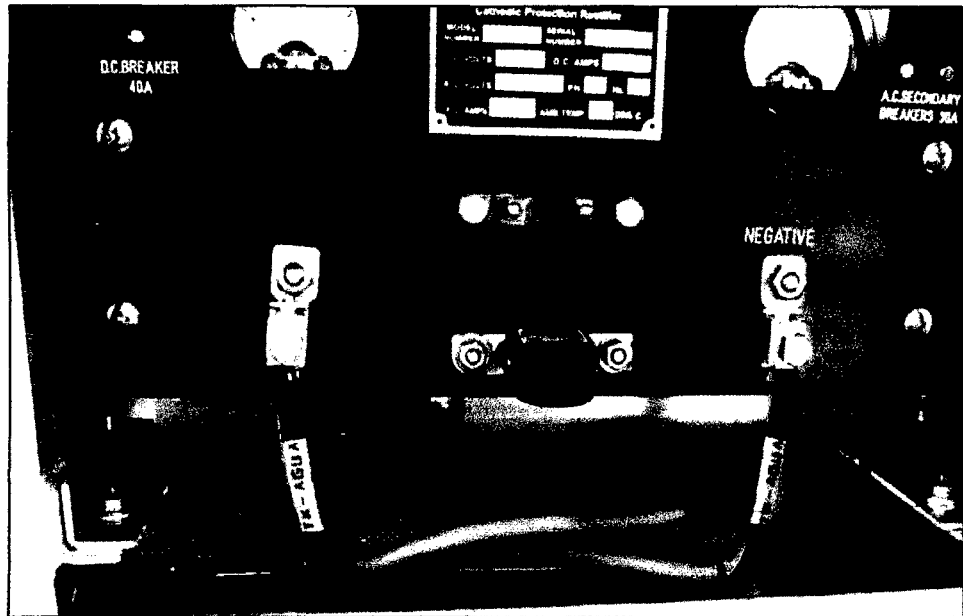
Instalación de rectificador

Foto N° 10



Conexión positiva y negativa en rectificador (T/R)

Foto N° 11



Toma de datos - puesta en marcha

Foto N° 12





**“SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA
PARA CONTROL DE CORROSIÓN EXTERNA DE TANQUES
SUMIDEROS ENTERRADOS USADOS EN LA PRODUCCION DE
PETROLEO - LORETO”**

PROTOCOLO DE INSTALACION Y PRUEBAS

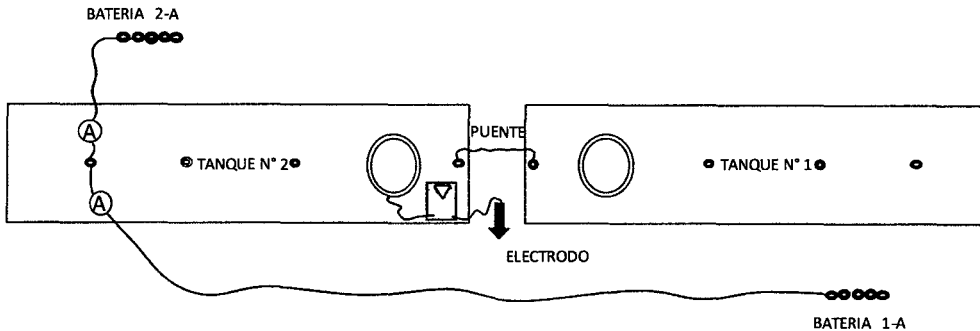


PROTOCOLO DE INSTALACIÓN Y PRUEBAS

SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA EXTERNA POR ÁNODOS DE SACRIFICIO

EFPIQ

TANQUES SUMIDEROS - BATERIA 9



FECHA	GRUPO DE ANODOS	N° ANODO	DRENAJE DE CORRIENTE (mAmp)	POTENCIAL (-mvolt)		RESISTIVIDAD	OBSERVACIONES	
				TK 1	TK2			
7/3/12	BATERIA 1 A	1	108.40	636	640		Hidratado con agua potable y con un relleno de tierra	
		2	166.00	646	650			
		3	173.70	648	652			
		4	177.10	649	653			
		5	196.50	652	657			
	BATERIA 2 A	1	55.85	667	674		Hidratado con agua potable y backfill de ánodo y con un relleno de tierra	
		2	58.65	671	679			
		3	59.36	672	680			
		4	59.40	674	682			
		5	59.45	676	684			
	Corriente total drenada (mAmp)			255.95				
	BATERIA 1 A	1	234.50	668	674	50 ohm-cm (agua salada)	Hidratado con agua potable y backfill de ánodo y con un relleno de tierra mas agua salada del hidrociclón	
		2	246.00	669	675			
		3	252.50	670	677			
		4	253.90	670	677			
5		256.90	670	677				
BATERIA 2 A	1	55.60	698	707	38 ohm-cm (agua salada)	Hidratado con agua potable y backfill de ánodo y con un relleno de tierra mas agua salada del hidrociclón		
	2	52.60	695	706				
	3	57.46	700	710				
	4	57.29	701	711				
	5	57.16	701	711				
Corriente total drenada (mAmp)			314.06					

Comentario: El drenaje de la cama anódica 2 A es muy bajo e incluso a las mismas condiciones de relleno de 1A, valores que no son suficiente para llegar al valor de potencial de protección

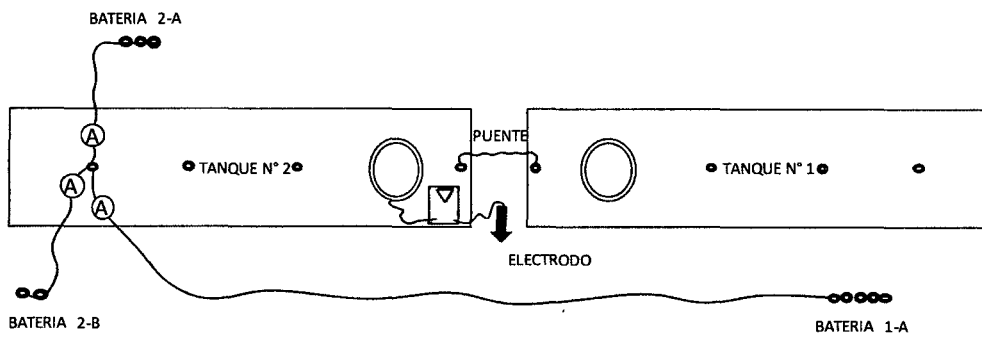


PROTOCOLO DE INSTALACIÓN Y PRUEBAS

SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA EXTERNA POR ÁNODOS DE SACRIFICIO

EFPIQ

TANQUES SUMIDEROS - BATERIA 9



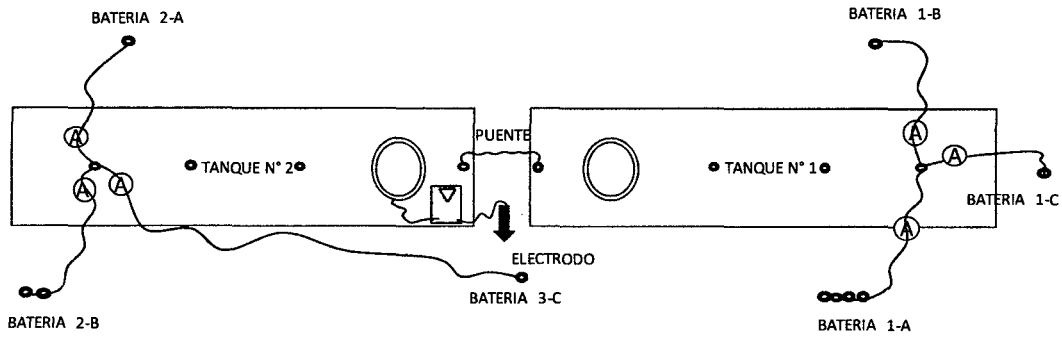
FECHA	GRUPO DE ANODOS	N° ANODO	DRENAJE DE CORRIENTE (mAmp)	POTENCIAL (-mV/olt)		RESISTIVIDAD	OBSERVACIONES	
				TK 1	TK2			
8/3/12	BATERIA 1 A	1					Hidratado con agua potable y backfill de anodo y con un relleno de tierra mas agua salada del hidrociclón	
		2						
		3						
		4						
		5	282.00	669	678			
	BATERIA 2 A	1	51.20	697	707	Hidratado con agua potable y backfill de anodo y con un relleno de tierra mas agua salada del hidrociclón		
		2	51.31	697	709			
		3	51.40	697	710			
	BATERIA 2 B	1	263.50	723	742	Hidratado con agua potable y backfill de anodo y con un relleno de tierra mas agua salada del hidrociclón		
		2	310.60	730	750			
		3						
		4						
		5						
	Corriente total drenada (mAmp)			644.00				

Comentario : Se registra un mayor potencial de ambas estructuras, resultado de una mejor distribución de los ánodos de la cama anódica 2 (C.A 2A -C.A 2B) , pero que no son suficiente para llegar al valor de potencial de protección



PROTOCOLO DE INSTALACIÓN Y PRUEBAS
SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA EXTERNA POR ÁNODOS DE SACRIFICIO
TANQUES SUMIDEROS - BATERIA 9

EFPIQ



FECHA	GRUPO DE ANODOS	N° ANODO	DRENAJE DE CORRIENTE (mAmp)	POTENCIAL (-mVolf)		RESISTIVIDAD	OBSERVACIONES
				TK 1	TK 2		
	BATERIA 2 A	1	40.00				
	BATERIA 2 B	1 2	560.00				
	BATERIA 3 C	1	180.00	896	896		
	BATERIA 1 A	1 2 3 4	260.00				
	BATERIA 1 B	1	20.00				
	BATERIA 1 C	1	150.00	898	900		
Corriente total drenada (mAmp)			1210.00				

Comentario : Se va teniendo un mejor potencial de ambas estructuras, resultado de una distribución equidistantes de los ánodos de cama anódica 2 y 1

Nota: Se tomo potenciales de tuberías extrañas enterradas : 659 mvolt

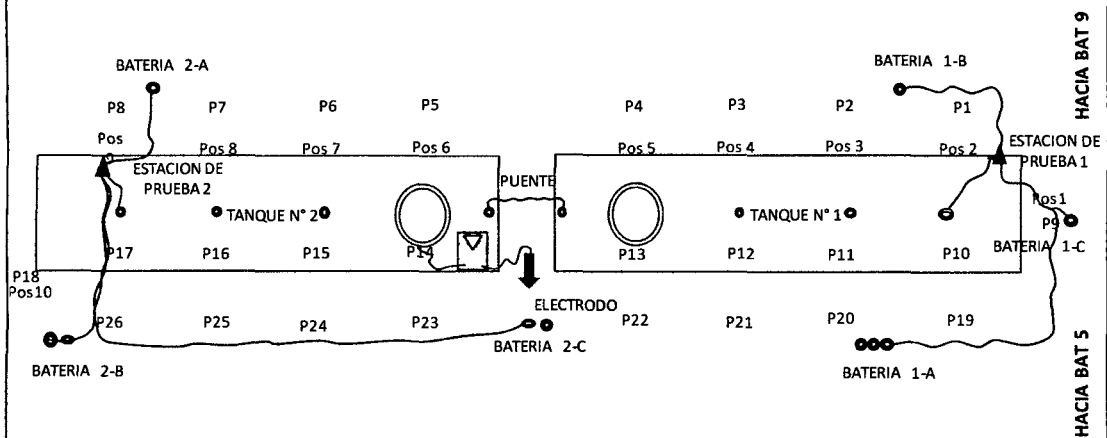


PROTOCOLO DE INSTALACIÓN Y PRUEBAS

SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA EXTERNA POR ÁNODOS DE SACRIFICIO

EFPIQ

TANQUES SUMIDEROS - BATERIA 9



FECHA	GRUPO DE ANODOS	N° ANODO	DRENAJE DE CORRIENTE (mAmp)	POTENCIAL (-mVolt)		RESISTIVIDAD	OBSERVACIONES	
				TK 1	TK2			
14/3/12	BATERIA 2 A	1	60.00					
	BATERIA 2 B	1	750.00					
		2						
	BATERIA 2 C	1	510.00					
		2		918	920			
	Corriente total drenada (mAmp)			1320.00				
	BATERIA 1 A	1	420.00					
		2						
	3							
BATERIA 1 B	1	30.00						
BATERIA 1 C	1	280.00						
				926	928			
Corriente total drenada (mAmp)			730.00					
Corriente total alcanzado(mAmp)			2050.00					

Comentario : Se observa que el drenaje de corriente de un anodo depende del tipo de terreno donde se instala, además con una distribución de corriente adecuada se logra obtener mejores resultados de potencial, cumpliendo con el valor de protección (mayor a -850 mV con respecto a un electrodo de Cu/CuSO4)



**“SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA
PARA CONTROL DE CORROSIÓN EXTERNA DE TANQUES
SUMIDEROS ENTERRADOS USADOS EN LA PRODUCCION DE
PETROLEO - LORETO”**

CATALOGOS

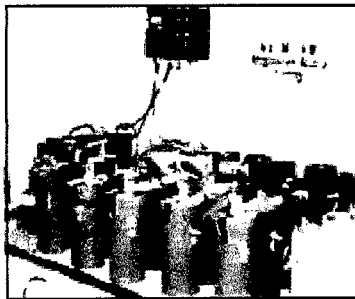


Magnesium™ Soil Anodes



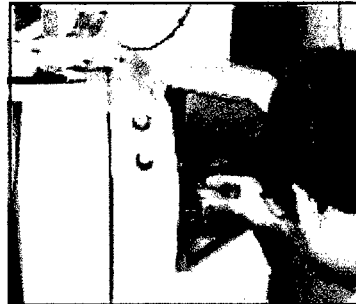
High Potential Magnesium

SuperMag High Potential Magnesium Anodes from Galvotec Alloys, Inc. offers typical high working/driving potentials of -1.70 volts or better vs. copper/copper sulfate reference electrode, providing more current output per pound than AZ-63 alloy magnesium anodes. This alloy is the best choice for engineered systems in high resistivity soils.



Laboratory- Testing

Our modern laboratory is equipped with the best state of the art equipment available. Our technicians and inspectors are well trained and experienced. A Chemical Analysis is provided for every heat. Each heat is analyzed throughout production to insure consistency. Electrochemical testing is performed routinely on randomly selected heats as a quality assurance procedure, utilizing the ASTM-G-97 test method.



Production - Quality Control

Our production facilities offer the best possible working environment available in the industry. Our personnel are experienced in all phases of the foundry operation. Quality Control in our foundry begins on the foundry floor, where the first line of inspection is the casting and molding crew, our lab technicians, inspectors and managers completes the quality team. Our quality control staff carefully monitors raw material, core materials, packaging and all aspects of production. Laboratory and field investigations prove that Galvotec SuperMag anodes perform consistently.

Packaging- Availability

Anodes are supplied in backfill to meet the customers' specifications. The typical backfill material consists of 75% gypsum, 20% bentonite and 5% sodium sulfate. Standard sizes and shapes are warehoused. Anodes are available packaged and unpackaged with or without leads as per customers' specifications.

Nominal weights and dimensions

KEY 0003



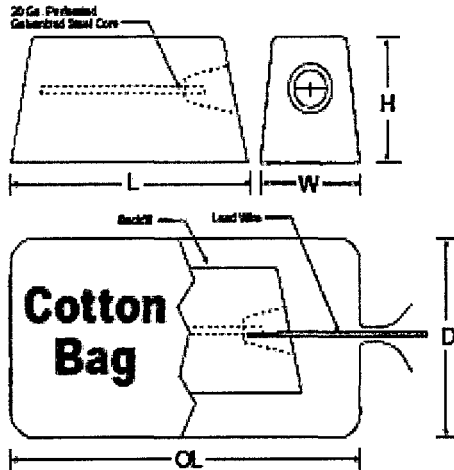
Magnesium H-1 Soil Anodes



Galvotec Alloys produces the H-1 Alloys, ASTM AZ83.
The standard sizes can be found in the following chart.

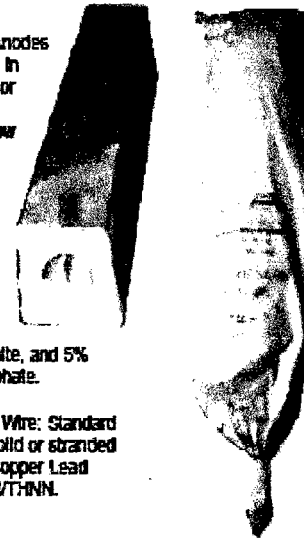
PRODUCT NO.	Weight				Anode Dimensions									
	BARE		PKDG.		Width (W)		Height (H)		Length (L)		Diameter (D)		Overall Length (OL)	
	lbs	kg	lbs	kg	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
GA-MG-3 H-1	3	1.4	8	3.6	3	76	3	76	5.0	127	5.25	133	8.00	203
GA-MG-5 H-1	5	2.3	13	5.9	3	76	3	76	8.0	229	5.25	133	11.25	286
GA-MG-9 H-1	9	4.1	27	12.2	3	76	3	76	14.0	356	5.25	133	20.00	508
GA-MG-12 H-1	12	5.4	32	14.5	4	102	4	102	12.0	305	7.50	191	19.00	457
GA-MG-17 H-1	17	7.7	45	29.4	4	102	4	102	17.0	432	7.50	191	24.00	610
GA-MG-32 H-1	32	14.5	68	30.8	5	127	5	127	20.5	521	8.50	216	28.00	711
GA-MG-50 H-1	50	22.7	100	45.4	7	178	7	178	16.0	406	10.00	254	24.00	610

Other shapes, sizes and weights available on request.



Packaged Anodes are prepack in either bags or cardboard cartons in low resistivity, quick wetting, prepared backfill consisting of 75% hydrated gypsum, 20% bentonite, and 5% sodium sulfate.

Connecting Wire: Standard 10 feet of solid or stranded #12 AWG Copper Lead Wire/TH/WN/TH/NN.



Alloy Compositions			
	Grade "A"	Grade "E"	Grade "C"
Element	%	%	%
Aluminum	5.3 - 6.7	5.3 - 6.7	5.0 - 7.0
Zinc	2.5 - 3.5	2.5 - 3.5	2.0 - 4.0
Manganese (Min)	0.15	0.15	0.10
Impurities			
Iron (Max.)	0.003	0.003	0.003
Nickel (Max.)	0.002	0.003	0.003
Copper (Max.)	0.02	0.05	0.10
Silicon (Max.)	0.10	0.30	0.30
Other (Max.)	0.30	0.30	0.30
Magnesium	Balance	Balance	Balance

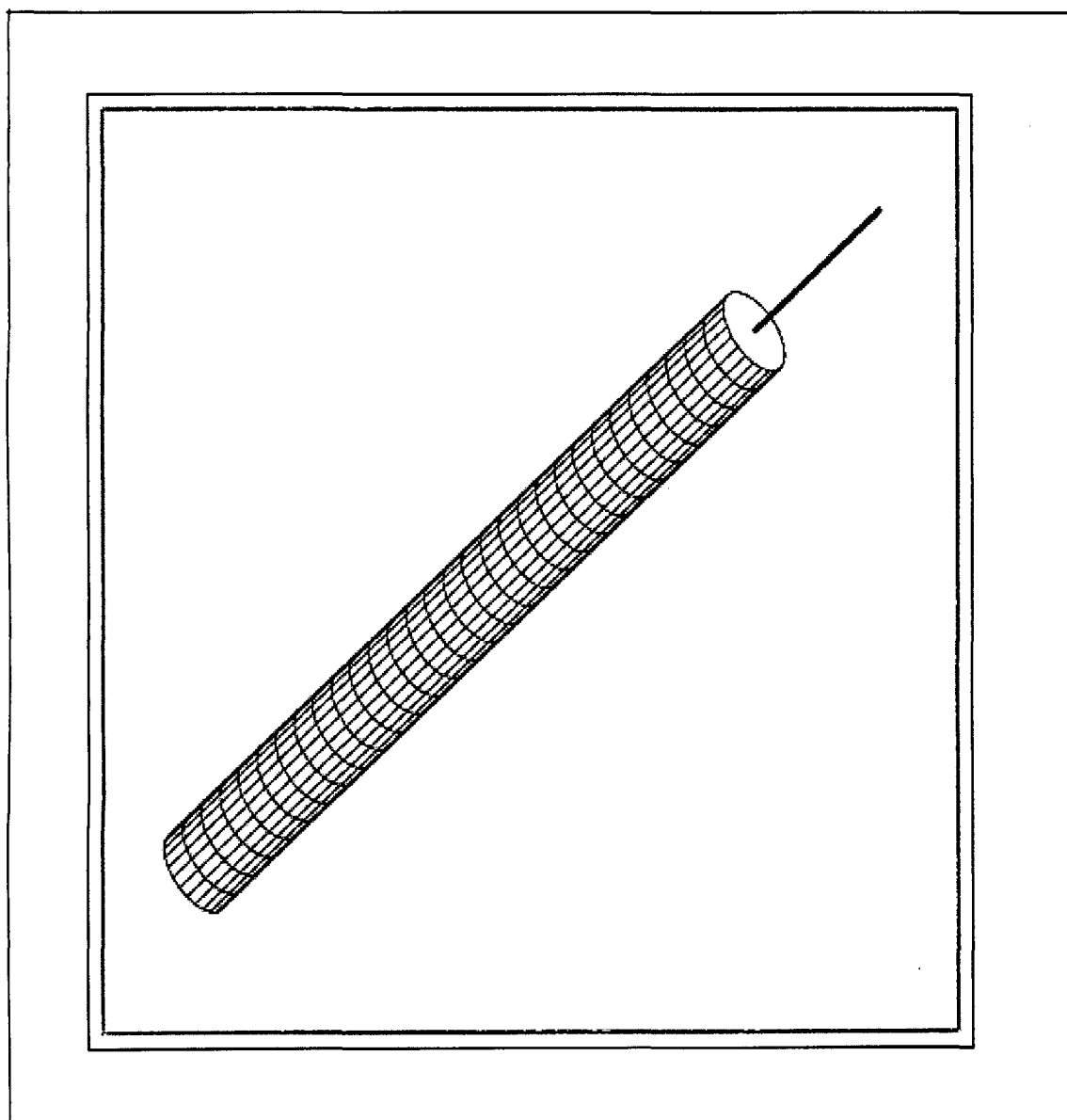
Typical Electrochemical Properties

Amps/Hrs./Lb.	500-540
Efficiency	50-54%
Closed Circuit Potential (Copper/Copper Sulfate)	-1.45 to -1.55v
Open Circuit Potential (Copper/Copper Sulfate)	-1.50 to -1.60v

NOTE: While statements contained herein are believed to be accurate, they are offered as suggestions only and no warranty or representation is intended. Galvotec Alloys products are sold subject to the terms and conditions appearing on our printed order acknowledgment.

CerAnode Technologies International
Division of APS-Materials, Inc.

CerAnode™ MMO Canister Anode



SPECIFICATIONS

(CERAMIC ANODE CANISTER – WITH <100 MICRO OHM CONNECTION RESISTANCE)

(see next page for specifying custom sizes)

Part # CAC-	403-0.5 Current Rating (Amperes)	603-1 Current Rating (Amperes)	603-2 Current Rating (Amperes)	603-3 Current Rating (Amperes)	804-4 Current Rating (Amperes)
20 Years	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
15 Years	0.6	1.2	2.5	3.6	5.0
10 Years	0.75	1.5	3.0	4.4	6.0
Canister Size:	3" x 40"	3" x 60"	3" x 60"	3" x 60"	4" x 80"
Canister Weight ¹ :	18 Lbs.	22 Lbs.	22 Lbs.	22 Lbs.	30 Lbs.
Hole/Coke Column Size:	4" x 60"	4" x 80"	8" x 80"	12" x 80"	12" x 100"
	Groundbed Resistance ² (Ohms)	Groundbed Resistance ² (Ohms)	Groundbed Resistance ² (Ohms)	Groundbed Resistance ² (Ohms)	Groundbed Resistance ² (Ohms)
1000 ohm-cm Soil Resistivity	4	3.2	2.6	2.3	2.0
3000 ohm-cm Soil Resistivity	12	9.5	7.9	7.0	6.0

NOTES:

- 1 **Canister Weight:** A significant portion of canister weight is high carbon, fine particle size, and calcined petroleum coke earth contact backfill.
- 2 **Groundbed Resistance:** Numbers are based on the coke column size using Dwight's vertical anode equation. Groundbed Resistance can be calculated on the coke column size initially. Eventually, as the coke is utilized, it would be calculated per anode element size. Actual resistance will vary.
- 3 **Minimum Recommended Coke Column (hole size):** The smaller the hole diameter the less expensive the ground bed. However, for good groundbed life the outer surface area of the coke column must be sized (as above) to provide a current density at the coke to earth interface of no more than 0.15 Amp/ft². This helps to insure electronic conduction from the anode to coke and then to the earth as opposed to electrocatalytic conduction. The volume of coke required for a 20 year design must be based on the coke consumption rate to the degree electrocatalytic conduction is involved. As a rule of thumb, coke is consumed at the rate of 2.2 lb/amp-yr at a current density of 0.09 Amp/ft². The type of electrolyte will influence the coke dissolution rate.

How to Specify the CerAnode™ Canister Anode

CUSTOMIZING THE SPECIFICATIONS

Typical part number = CAC-603-1-5FT-8AWG-HMWPE-CXP

CAC	= Product Designator for CerAnode™'s Anode+Canister
603	= 60 Inch Can, 3 Inches in Diameter
1	= Rated Current Capacity is One Ampere for 20 Years
5FT	= Cable is 5 Feet Long
8 AWG	= Cable Size is 8 awg
HMWPE	= Cable Insulation is High Molecular Weight Polyethylene
CXP	= Cable connection is Cross Linked Polyolefin

Part Number Modifications for Alternate Specifications:

Can Length and Diameter such as 804 (80 inch long and 4 inches in diameter)

Cable Lengths such as 50FT for 50 feet.

Cable Sizes 12AWG for 12 awg.

Insulation Types such as Halar/ HMWPE for dual extruded Halar layer + HMWPE layer.

Connection Type: Specify X Linked Polyolefin(CXP) or X Linked Fluoropolymer (CXF).

It is important to specify a CXF option (a connection made with a cross linked fluoropolymer) for applications where chlorides may be present.

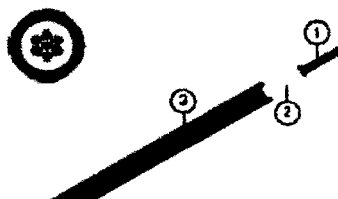
It is also important to specify Halar/HMWPE cable insulation where chlorides may be present.

WHEN IN DOUBT ABOUT SPECIFICATIONS, CONSULT CerAnode™.

CerAnode™ is not a Cathodic Protection Engineering Company and does not take ultimate responsibility for any particular customer design, but we do offer free educated suggestions which are often quite valuable when specifying anodes to best suit your application. If high quality anodes are specified properly for a particular application they will provide the performance anticipated. We would like to help our customers avoid specification related problems whenever possible.

NYY UNIPOLAR 0,6/1 KV

Cable utilizado en sistemas de distribución de baja tensión. Instalaciones eléctricas de tipo industrial.



Descripción cable:
 1. Conductor de cobre
 2. Aislamiento
 3. Cubierta exterior

Cables Para Minas

1. DESCRIPCIÓN:

1. Conductor de cobre electrolítico temple suave.
 - Sólido para secciones hasta 10 mm².
 - Cuerda redonda compacta para secciones mayores de 10 mm².
2. Aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC/A) color natural.
3. Cubierta exterior de cloruro de polivinilo (PVC ST1) en color negro.

2. MÁXIMA TENSIÓN DE OPERACIÓN:

1200 Voltios entre fases.

3. TEMPERATURA MÁXIMA EN EL CONDUCTOR:

En operación normal 80°C
 En condiciones de emergencia 95°C
 En condiciones de cortocircuito 160°C

4. NORMA DE FABRICACIÓN:

NTP-IEC 60502-1

5. APLICACIONES:

En sistemas de distribución de baja tensión. Instalaciones eléctricas de tipo industrial.

6. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES:

Ligeros y fáciles de instalar. Alta resistencia a la humedad y a gran diversidad de agentes químicos. Cubierta exterior resistente a la abrasión, no propaga la flama.

Debido a las características eléctricas y mecánicas de los materiales que intervienen en su construcción, los cables NYY son adecuados para múltiples aplicaciones y condiciones de instalación, pudiendo instalarse sobre bandeja portacables, en canaleta o enterrado directamente y trabajar largo tiempo inclusive sumergido en agua, como puede ocurrir en inundación de ductos o terrenos.



7. CARACTERISTICAS DIMENSIONALES:

Sección Nominal (mm ²)	Número de Hilos por Conductor	Espesor Nominal (mm)		Diámetro Exterior mm	Peso Total (Kg/Km)
		Aislante	Cubierta		
2,5	1	0,8	1,4	6,5	64
4	1	1,0	1,4	7,5	88
6	1	1,0	1,4	8,0	113
10	1	1,0	1,4	9,0	156
16	7	1,0	1,4	10,0	222
25	7	1,2	1,4	12,0	327
35	7	1,2	1,4	13,0	421
50	19	1,4	1,4	14,5	558
70	19	1,4	1,4	16,5	762
95	19	1,6	1,5	18,5	1057
120	37	1,6	1,5	20,0	1280
150	37	1,8	1,6	22,5	1601
185	37	2,0	1,7	24,5	1974
240	61	2,2	1,8	27,5	2535
300	61	2,4	1,9	30,5	3180
400	61	2,6	2,0	34,0	3950
500	61	2,8	2,1	37,5	5052

Datos sujetos a tolerancias normales de manufactura.

8. CARACTERISTICAS ELECTRICAS:

Sección Nominal (mm ²)	Resistencia Conductor (Ohm/Km)		Reactancia Inductiva Ohm/Km a 60 Hz	Capacidad de Corriente (Amp)	
	c.c. a 20°C	c.a. a 80°C		Aire Libre 30°C	Enterrado Temp=20°C 100°C-cm/W
2,5	7,41	9,16	0,182	31	43
4	4,61	5,73	0,173	41	56
6	3,08	3,83	0,164	52	70
10	1,83	2,27	0,152	71	94
16	1,15	1,43	0,143	94	121
25	0,727	0,903	0,138	126	156
35	0,524	0,651	0,132	156	187
50	0,387	0,481	0,128	192	222
70	0,268	0,334	0,124	241	272
95	0,193	0,241	0,122	300	325
120	0,153	0,192	0,119	349	370
150	0,124	0,156	0,119	402	415
185	0,0991	0,126	0,118	464	467
240	0,0754	0,097	0,117	553	540
300	0,0601	0,079	0,116	636	606
400	0,0470	0,064	0,114	742	686
500	0,0366	0,053	0,113	851	768

HOW TO PREPARE AND MAINTAIN PORTABLE M. C. MILLER COPPER SULFATE REFERENCE ELECTRODES

WARNING! M. C. Miller reference electrodes use Copper Sulfate crystals. Copper Sulfate should be handled with care. Rubber gloves, safety glasses or face shields, waterproof aprons and inhalant protection are highly recommended when working with copper sulfate. Please read the Materials Safety Data Sheet (MSDS) for Copper Sulfate Pentahydrate Crystals (M. C. Miller's MSDSID#25) for proper handling information.

Electrode Preparation Steps:

When rejuvenating or setting up a new electrode, follow these steps:

1. Unscrew the orange Lexan tube (with the ceramic plug attached) from the copper rod assembly, which will reveal the copper rod.
2. Burnish the copper rod to a shiny metallic finish using a new, unused, non-metallic scouring pad or sandpaper. Green 3M scouring pads are recommended for this procedure. Oxide type sandpaper must be avoided as oxide sandpaper will introduce unwanted metals into the surface of the copper rod.

Once the copper rod has been fully burnished, avoid any contamination that may occur before the rod assembly is reattached to the tube. The MCM copper rod assemblies are made with the highest purity copper available; however, they can become contaminated by ungloved fingers, dirt, oil or any other foreign substance.

3. Inspect the rubber o-ring and replace the ring if it appears to be damaged. Copper Sulfate is a corrosive mineral and should be handled with care. Leaking reference electrodes may
4. Add Copper Sulfate crystals (if not already added) to the orange Lexan tube. **Use only high purity copper sulfate crystals, such as those available from M. C. Miller.** The quantity of crystals to be added depends on the electrode type. **Typically, the crystals should fill the orange Lexan tube to about 1/3 of the height of the tube**, regardless of electrode type. Weight guidelines for the crystals are indicated below for each electrode type:

RE-5 and 5C's	0.7 Oz. / 20 grams CuSO_4
RE-7	0.4 Oz. / 11 grams CuSO_4
Re-375	0.05 Oz. / 1.5 grams CuSO_4
RE-2.5 / RE-5U	0.64 Oz. / 18 grams CuSO_4

5. Add **Deionized or Distilled Water** up to the bottom of the threads on the Lexan tube. Be sure to remove any crystals that may have stuck to the threads. If copper sulphate crystals are present on the threads when the plug assembly is reattached, the electrode may leak at this threaded junction.
6. Screw the orange Lexan tube back onto the rod assembly, being careful not to over-torque.
7. Shake the electrode vigorously until the copper sulfate crystals dissolve and the solution becomes fully saturated with copper sulfate. The saturation point is reached when no more crystals can be dissolved into solution. At this point, the solution should be a rich blue color and there should be some crystals remaining out of solution. Add additional crystals until this condition is reached.
8. Allow the electrode to set for a 24-hour period before use. The electrode ceramic plug assemblies are presoaked at the factory in a copper sulfate solution and allowed to dry. Before using the electrode, the ceramic plug assembly must become moistened by the solution contained within the electrode. Failure to allow the ceramic plug assembly to moisten for at least 24 hours could cause the electrode to indicate false readings.

Note 1: Under average conditions, the electrode should be emptied and cleaned out every two or three months. However, if the electrode is allowed to remain in prolonged contact with low resistivity soil or water, more

MAN270

frequent rejuvenation may be desirable. For consistent results, we recommend using the highest purity copper sulfate crystals available.

Note 2: Always use the orange plastic plug cover when an electrode is not being used to help prevent the plug from drying out due to evaporation.

Electrode Maintenance

Short Term Maintenance:

The ceramic plug should be cleaned after each use by rinsing the plug under water to remove any residual soil material, and wiping the plug with a clean cloth. After the cleaning process, the orange plastic plug cover should be applied to the plug to limit evaporation (to prevent the plug from drying out).

Long Term Maintenance

If the electrode is not to be in-service for a significant period of time (say, at least a month), it is recommended that the copper sulfate solution be emptied out of the Lexan tube and the inside of the tube be rinsed out using distilled or de-ionized water to remove any residual copper sulfate crystals. **Please consult your local hazardous waste disposal authority for recommended disposal procedures for copper sulfate solution and copper sulfate crystals.** When it is time to re-use the electrode, follow the preparations for use steps outline above, beginning with the copper rod burnishing step, since the copper rod will have accumulated an oxide film.

Low Temperature Precautions:

When the ambient temperature in which the electrodes are used or stored is below freezing, the copper sulfate solution within the electrode may freeze, since it's a water-based solution. Frozen copper sulfate solution will cause the internal resistance of the electrode to become very high. As a result, it is virtually impossible to obtain a correct reading. Further, as the solution freezes, it is possible that the expansion of the solution may cause the ceramic plug assembly to split. M. C. Miller's Copper Sulfate Anti-Freeze Solution or GEN II Leak Stop Gel should be used if freezing conditions are expected. The Anti-freeze solution and GEN II Leak Stop Gel can be used in all temperatures (not just low temperatures). Since both the M. C. Miller Anti-Freeze and GENII Gel products are super-saturated solutions, there is no need to add copper sulfate crystals to the Lexan tube when using these products.

Testing Electrodes for Accuracy:

After prolonged use, the copper sulfate solution can become contaminated by outside elements (reverse osmosis) leading the faulty readings. To check the condition of an in-service electrode, the following procedure is recommended. A new electrode should be prepared as a "standard". An LC-4 voltmeter is recommended for the test procedure with the DC voltage range set to 200mV and the input impedance set to 200M Ω . Attach the "standard" reference electrode to the negative (or common) side of the meter and the electrode to be tested to the positive side. Place the plug ends of the two electrodes (the "standard" and the in-service electrode) in a plastic bath containing tap water (not de-ionized or distilled water). If the electrodes are evenly matched, the voltmeter should read zero ± 10 mV. Since copper sulfate electrodes are affected by temperature, it is necessary to allow both electrodes to equilibrate at the same temperature prior to the test. 72 degrees F is ideal. When it is found that an in-service electrode has a reading that is outside the acceptable tolerance range, the electrode should be rejuvenated using the procedures outlined above.

Common Sources of Reading Error:

Voltmeter Parameters:

The voltmeter used in conjunction with a reference electrode should have a sufficiently-high input impedance setting, at least 10 M Ω , although 200M Ω is recommended in high soil resistance conditions, so that source resistance does not affect readings. If the source resistance (the total resistance "seen" by the voltmeter) is significant with respect to the input impedance of the voltmeter, the voltage reading will be lower than it should be. Consequently, the higher the input impedance value of the voltmeter, the better, with respect to voltage reading accuracy.

Poor (Electrical) Contact:

When taking readings with a reference electrode, the ceramic plug must be in good electrical contact with the soil. Vegetation, such as grass should be moved out of the way. Grass or other items will add resistance and result in inaccurate readings. M. C. Miller reference electrodes are designed to be durable, but over time, the ceramic plug assembly will become contaminated by foreign materials and become worn or cracked. At this point, the replacement of the ceramic plug assembly is highly recommended. If the copper sulfate solution within the electrode becomes cloudy white, reverse osmosis has occurred and rejuvenation is recommended.

MAN270

Submerging Electrodes: When using a reference electrode completely submerged in water, the electrode tube should be kept completely filled with copper sulfate solution or gel. This will limit the possibility of outside water being forced into the electrode through the ceramic plug assembly. Even when the tube is completely filled, some reverse osmosis will occur. Submerging the electrode in areas where the water is highly contaminated, such as that found in manholes, lift stations or in seawater, the copper sulfate solution should be changed more frequently. The solution should be changed every other day under such conditions. You will be able to tell how contaminated your electrode has become by testing its potential against a "standard" electrode.



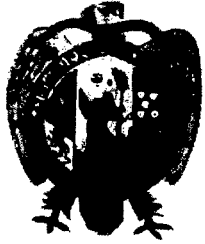
Instruments and Equipment for the Corrosion Engineer

11640 U.S. Highway 1, Sebastian, FL 32958
Tel: 772-794-9448 ~ Fax: 772-589-9072
sales@mcmiller.com ~ www.mcmiller.com



**“SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA
PARA CONTROL DE CORROSIÓN EXTERNA DE TANQUES SUMIDEROS
ENTERRADOS USADOS EN LA PRODUCCION DE PETROLEO -
LORETO”**

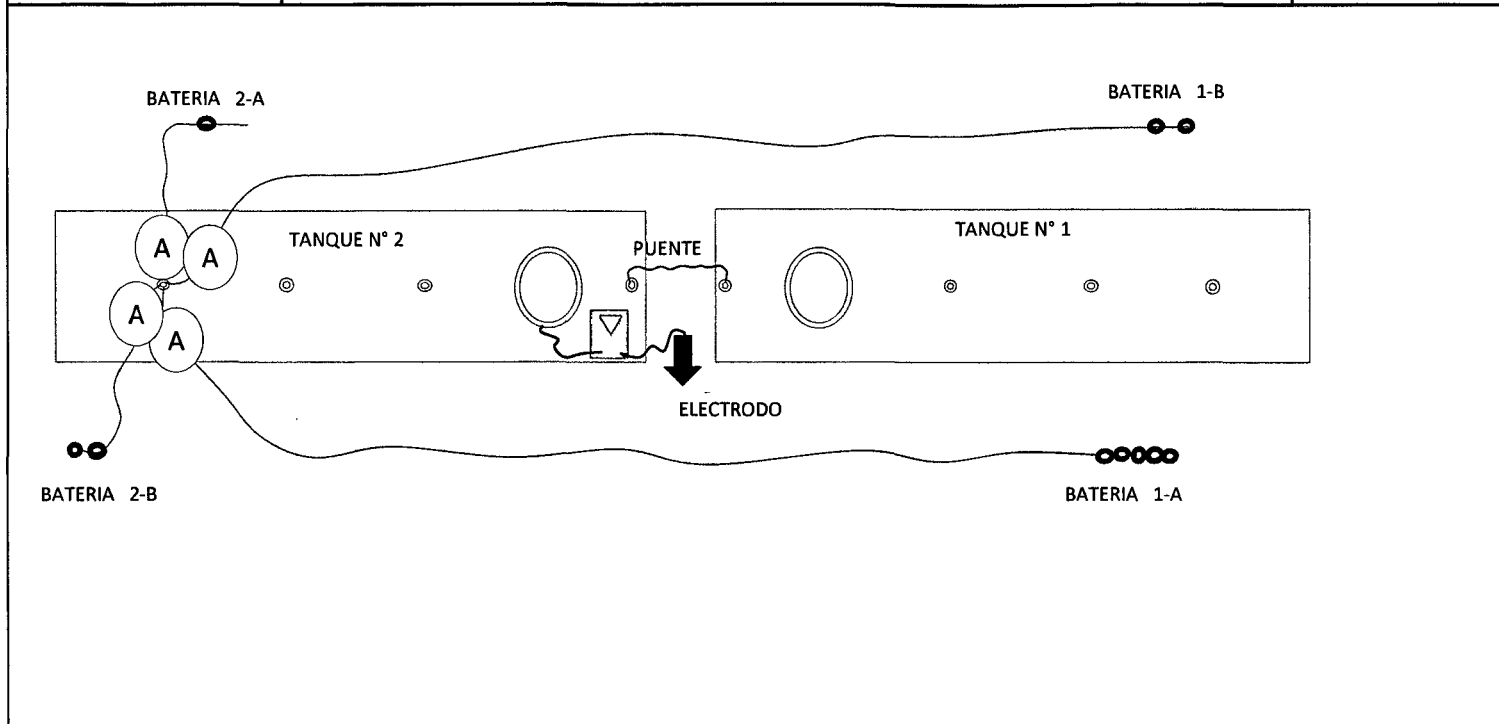
PLANOS DE DISTRIBUCION



ESQUEMA DE INSTALACION

SISTEMA DE PROTECCION CATODICA EXTERNA POR ANODOS DE SACRIFICIO
TANQUES SUMIDEROS - BATERIA 9

P. 1

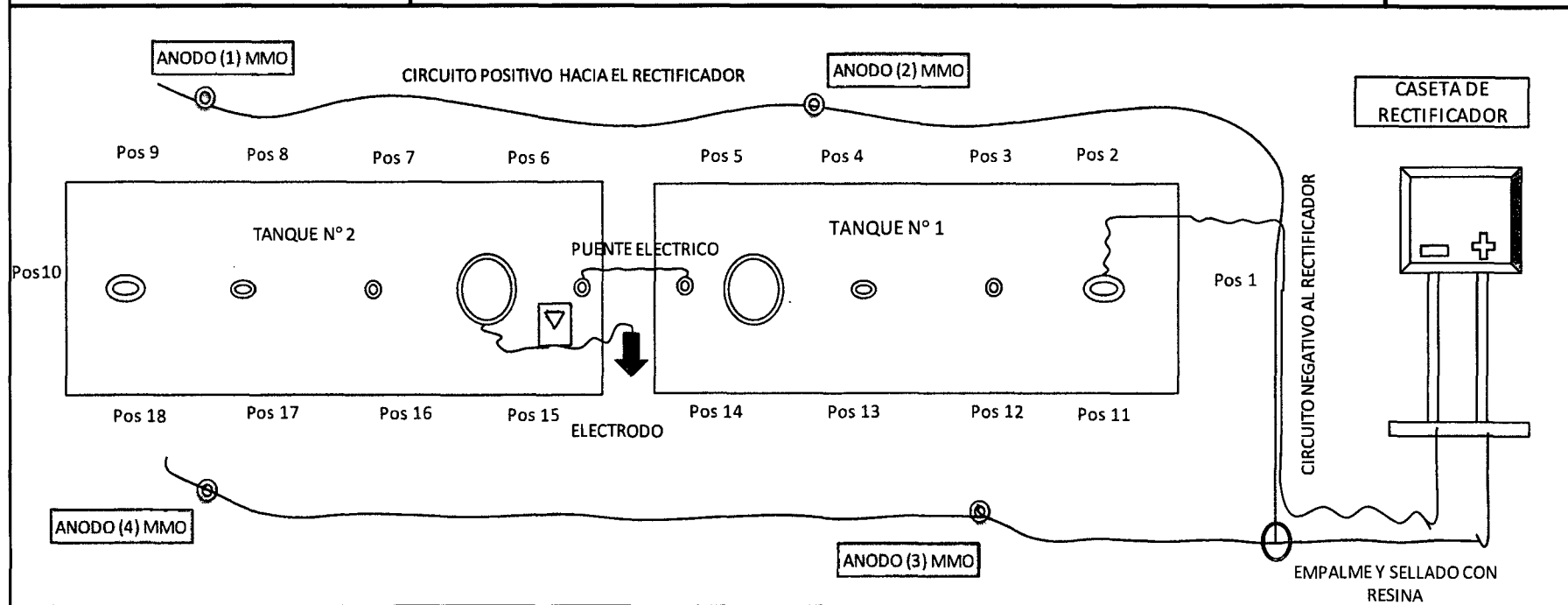




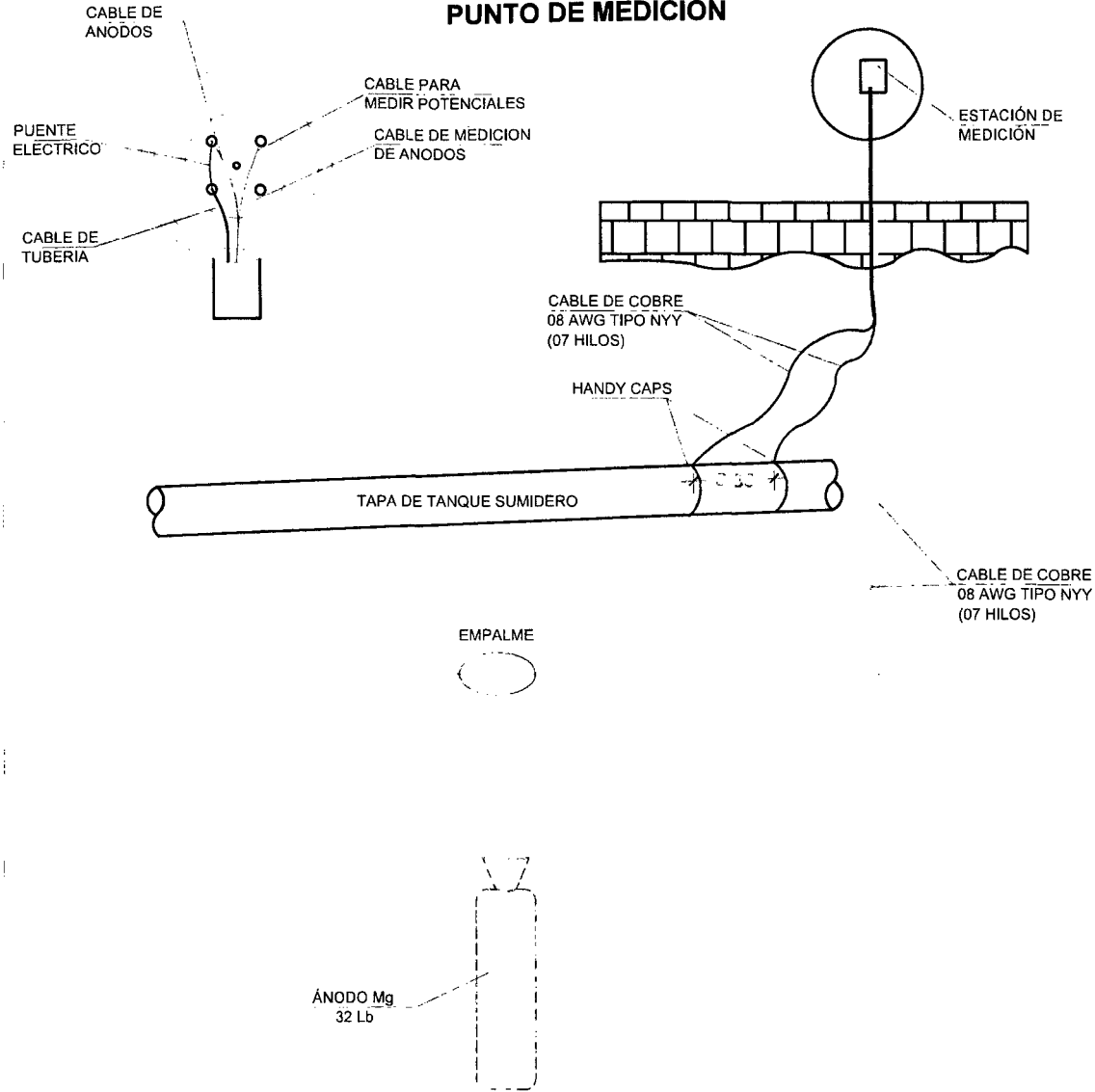
ESQUEMA DE INSTALACION Y PRUEBAS

SISTEMA DE PROTECCION CATODICA EXTERNA POR CORRIENTE IMPRESA
TANQUES SUMIDEROS - BATERIA 9

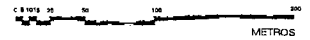
P. 2



DETALLE PUNTO DE MEDICION



ESCALA GRAFICA 1:2000



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN
CRISTOBAL DE HUAMANGA"

TITULO: _____

PLANO: **DETALLE**
PUNTO DE MEDICION 6/E
 DISEÑADOR: _____
 AUTORA: _____
 FECHA: _____

PD-03



**DETALLE N° 1
PERNO DE EMPALME PARA ANODOS**

CABLE (+) NYY 8 AWG
DESNUDO

AISLANTE NYY

PERNO DE EMPALME
COMPRESION MECANICA

CABLE ELÉCTRICO
DESNUDO

CABLE DE
ÁNODO N°14

ESCALA GRÁFICA 1:2000



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN
CRISTOBAL DE HUAMANGA"

PLANO: **DETALLE
PERNO DE EMPALME PARA
ANODOS**
Escala: _____
FECHA: _____
AUTOR: _____

PD-02



DETALLE N° 5 TENDIDO DEL CIRCUITO NEGATIVO Y ANODOS MMO

CABLE NEGATIVO N°8 AWG
PRINCIPAL DEL ANODO

VISTA DE PLANTA DE ZANJA
DE CAMA ANODICA

ANODO MMO PREEMPACADO

ANODO MMO PREEMPACADO

NIVEL DE TERRENO
CONEXION

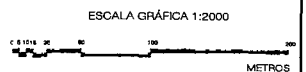
CABLE NEGATIVO N°8
PRINCIPAL DEL ANODO

ANODO MMO PREEMPACADO

NIVEL DE TERRENO
CONEXION

CABLE NEGATIVO N°8
PRINCIPAL DEL ANODO

ANODO MMO PREEMPACADO



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN
CRISTOBAL DE HUAMANGA"

PLANO: **DETALLE N° 5 Y DETALLE N° 6**

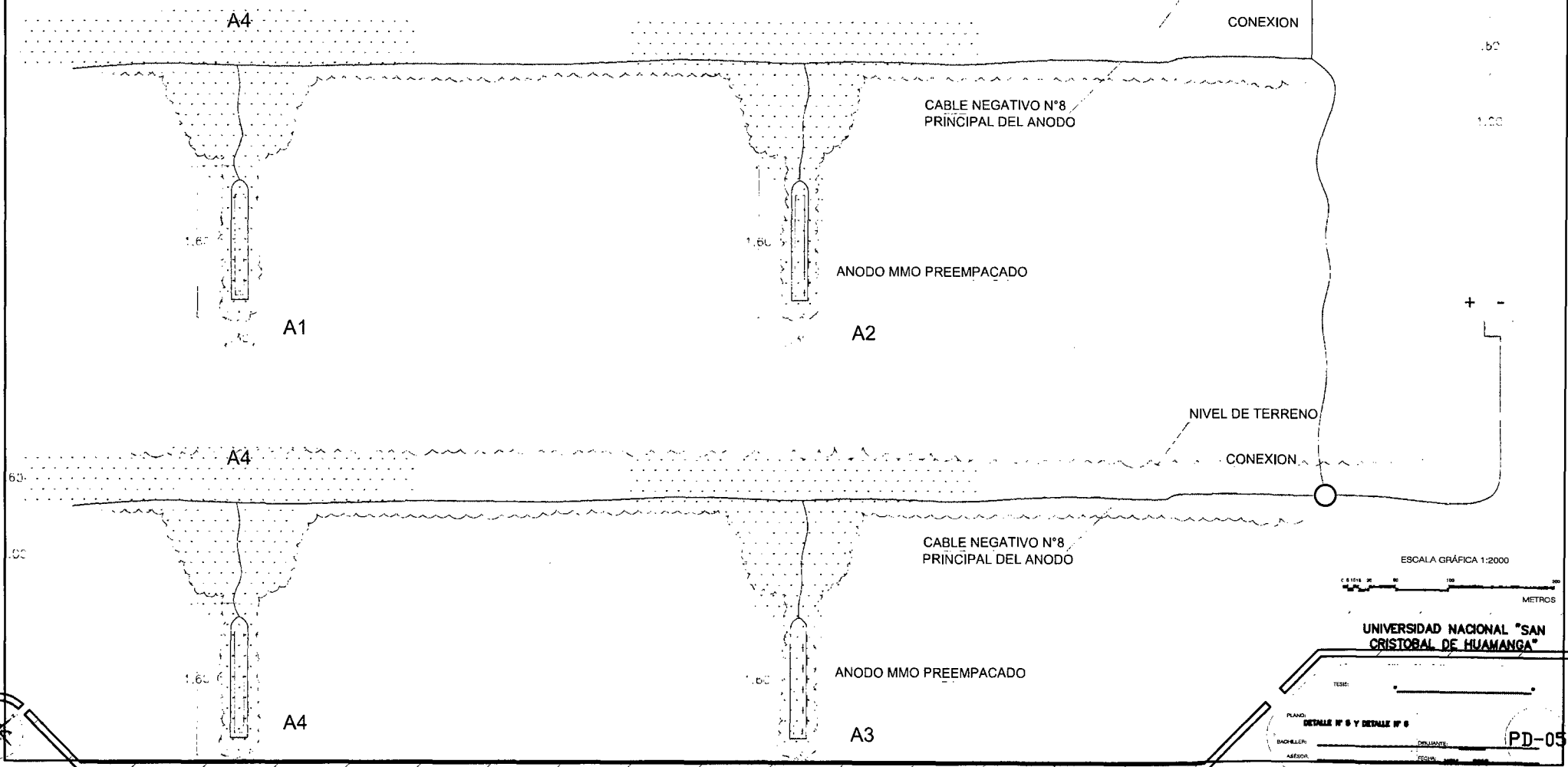
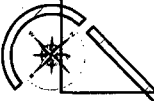
TESIS: _____

BACHILLER: _____

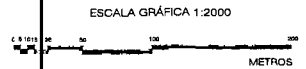
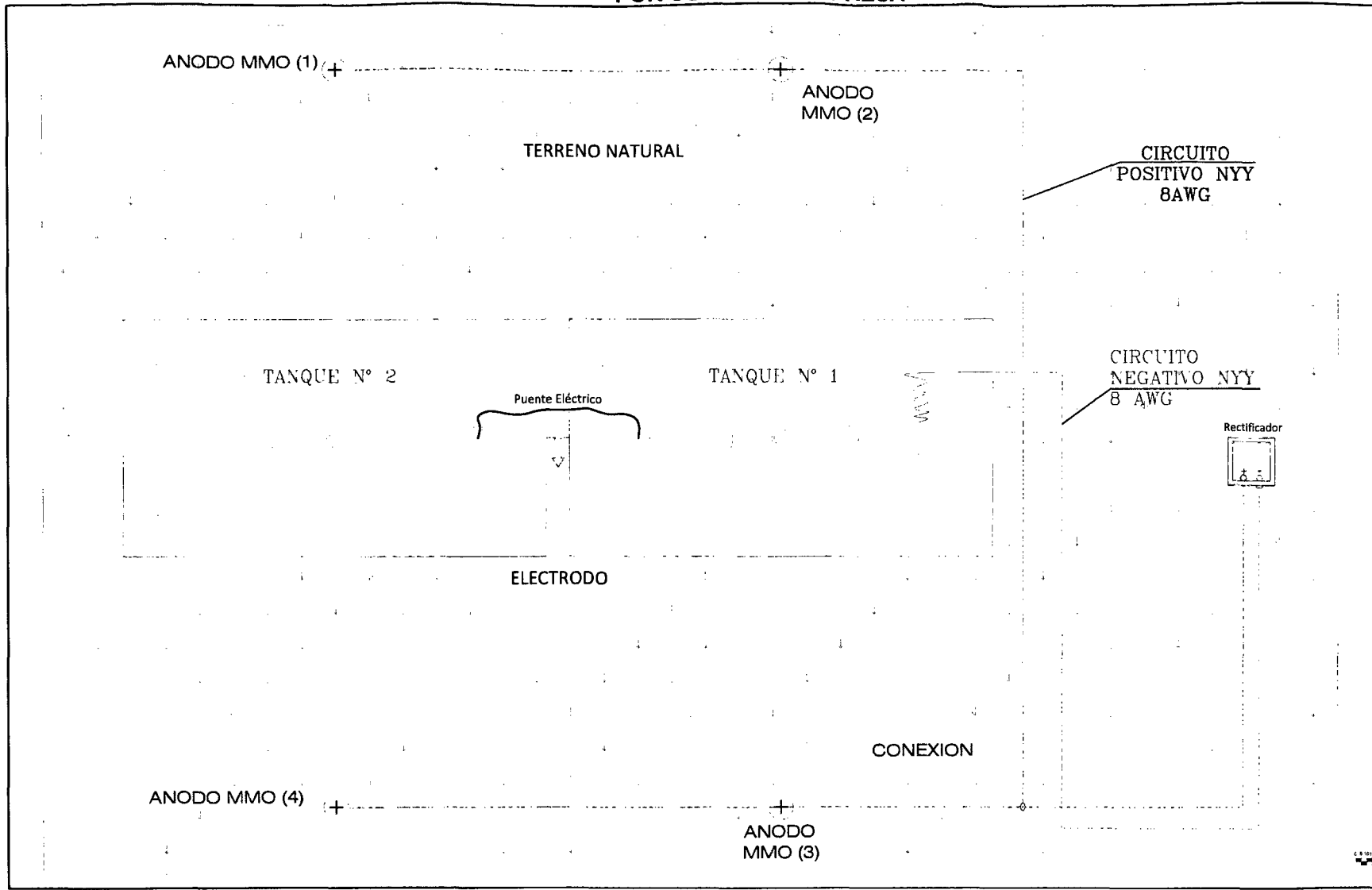
INGENIERO: _____

PROFESOR: _____

PD-05



SISTEMA POR PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA"

TESIS: _____

PLANO: SISTEMA DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA

BACHILLER: _____

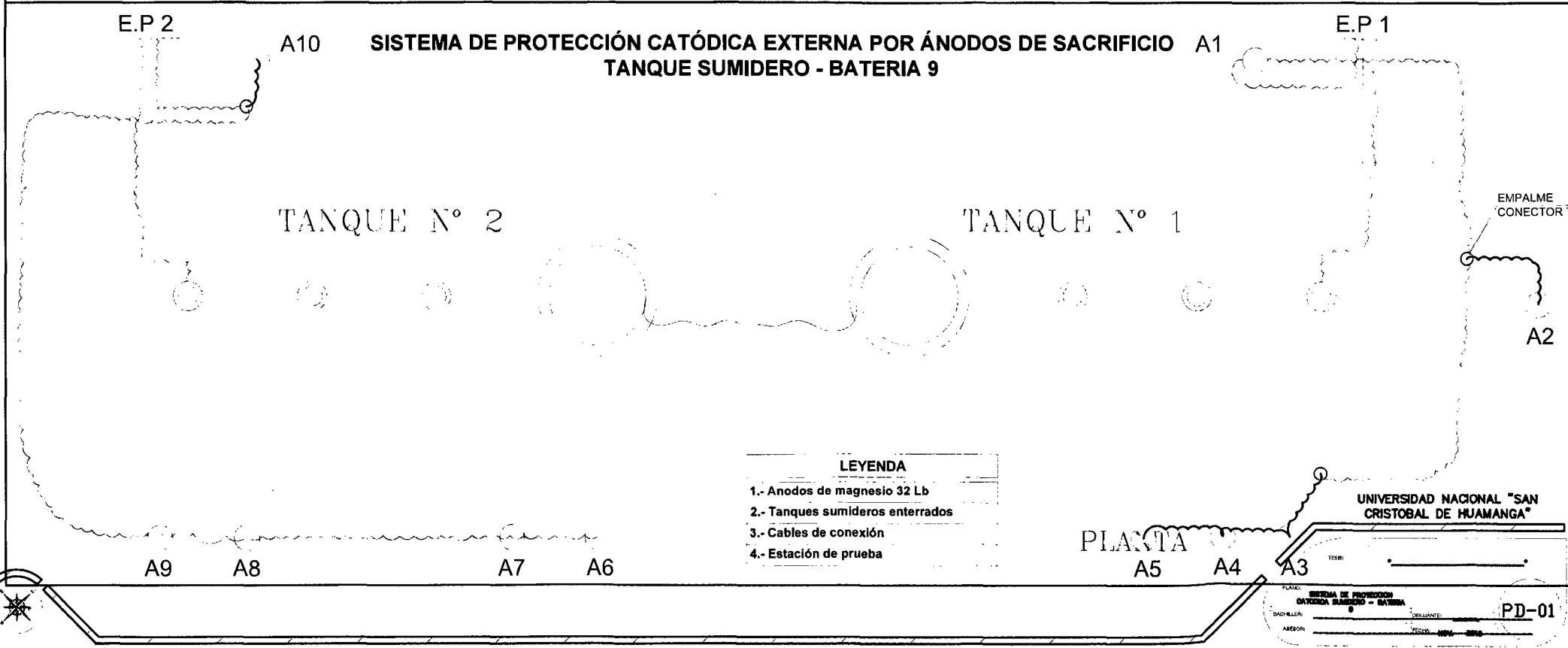
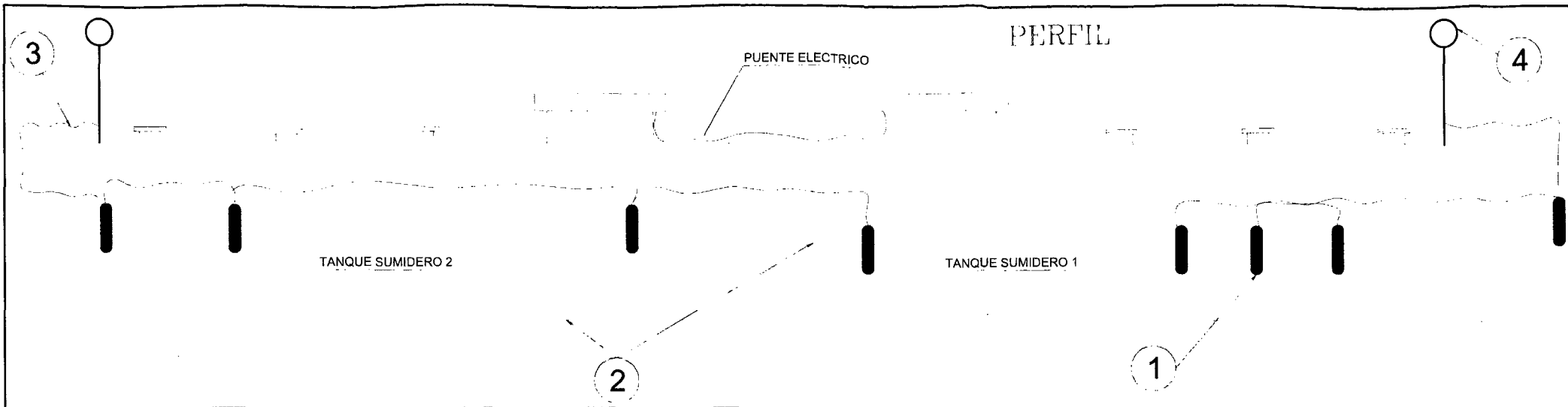
ASESOR: _____

TECNICO: _____

PROFESOR: _____

PD-04





UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA"

PLANTA A5 A4 A3

EMPALME CONECTOR A2

E.P. 1

E.P. 2

A10 A9 A8 A7 A6

TANQUE N° 2 TANQUE N° 1

TANQUE SUMIDERO 2 TANQUE SUMIDERO 1

PUENTE ELECTRICO

PERFIL

3 2 1 4

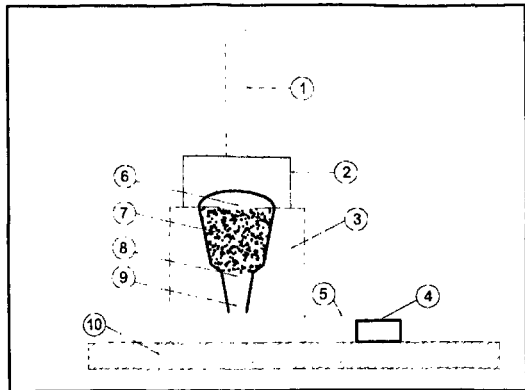
PLANTA

SERIE DE PROTECCION
CATODICA SUMIDERO - BATERIA
9

DISEÑADA POR: _____
AUTOR: _____
FECHA: _____

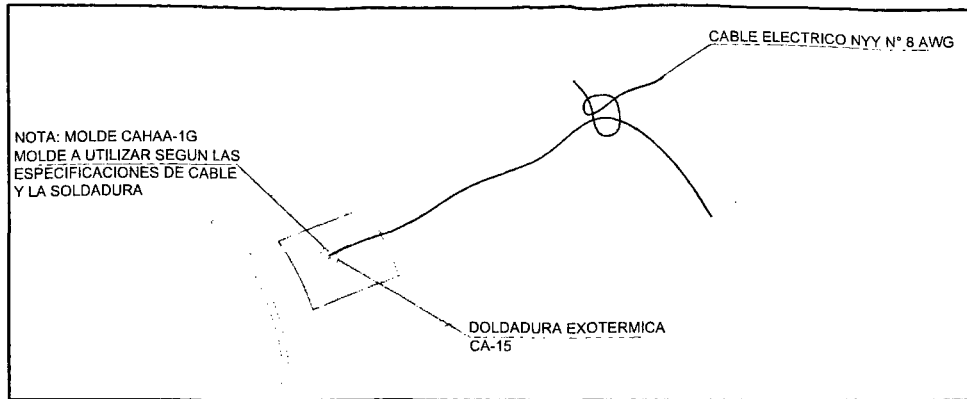
PD-01

DETALLE 1: DESCRIPCION DEL MODE PARA SOLDADURA



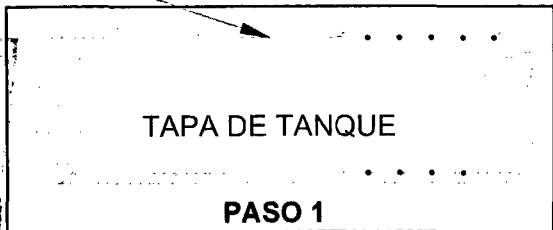
- LEYENDA**
- 1.- Manija
 - 2.- Cubierta de Grafito
 - 3.- Molde de Grafito
 - 4.- Cable de Cobre
 - 5.- Manguito de Cobre
 - 6.- Polvora de Arranque
 - 7.- Polvora de Metal
 - 8.- Disco de Metal
 - 9.- Reborde
 - 10.- Sección de Estructura Limpia

DETALLE 2: SOLDADURA CADWELD CABLE - TUBO

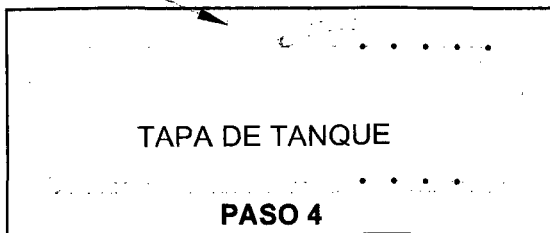


SECUENCIAS DE APLICACION DE SOLDADURA CUPOALUMINOTERMICA

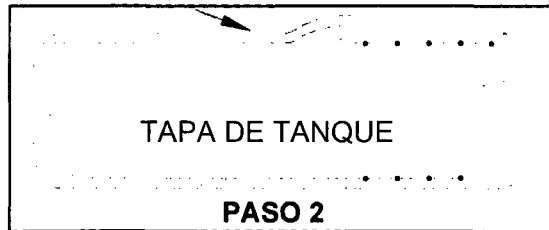
Remover el revestimiento de la sección de tubería, impiar hasta obtener un acero brillante con una lima o algo filado secar completamente la superficie



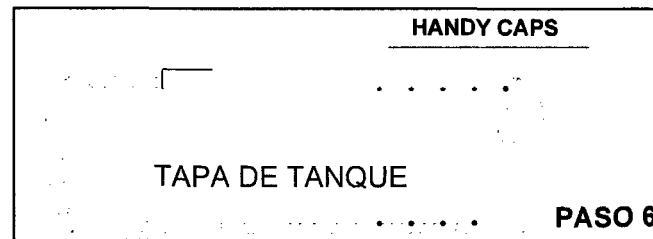
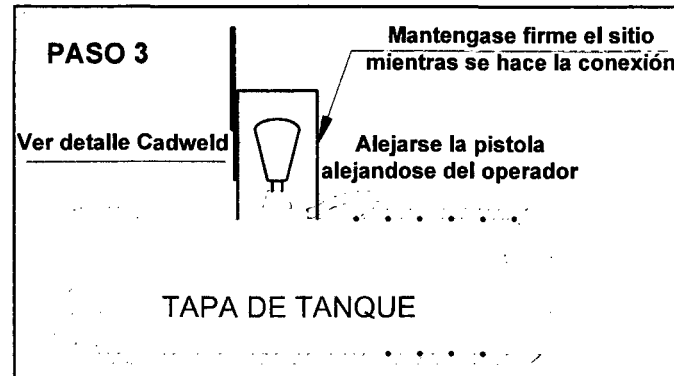
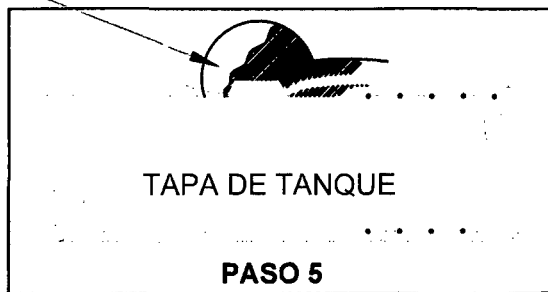
Remover la escoria con un martillo



Quitar 3" de aislamiento del cable y ensunchar un manguito de cobre al cable desnudo, no se requiere manguito de cobre para cables Nº 6 AWG o mayores



Reparar revestimiento de la tubería revisando que no quede metal desnudo expuesto



Nota: Despues de la conexion se ha hecho remover la escoria suelta y revestir todo el metal desnudo expuesto hasta igualar la resistencia fisica y dielectrica del revestimiento de la tubería

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA"

TITULO: _____

PLANO: DESCRIPCION DEL MOLDE PARA SOLDADURA

BACHILLER: _____

AMAZON: _____

FECHA: _____

PD-02