



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL SISTEMA DE
PROTECCIÓN CATÓDICA APLICADO A LA BASE DE LOS
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES EN EL
TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS RIOBAMBA DE LA EP
PETROECUADOR”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTOS TÉCNICOS

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: FERNANDO SANTIAGO MARCIAL ACOSTA

DIRECTOR: ING. MARCO CHUIZA

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

©2018, Fernando Santiago Marcial Acosta

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo Técnico “EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA APLICADO A LA BASE DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES EN EL TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS RIOBAMBA DE LA EP PETROECUADOR”, de responsabilidad del señor Fernando Santiago Marcial Acosta, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Marco Chuiza

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ing. Carlos Medina

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Fernando Santiago Marcial Acosta, declaro que el Trabajo de Titulación tipo Proyecto Técnico denominado: “EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA APLICADO A LA BASE DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES EN EL TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS RIOBAMBA DE LA EP PETROECUADOR ” es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 12 de Junio del 2018

Fernando Santiago Marcial Acosta

Cédula de Identidad: 180463492-9

Yo, FERNANDO SANTIAGO MARCIAL ACOSTA, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Fernando Santiago Marcial Acosta

Cédula de Identidad: 180463492-9

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por darme salud, vida y el conocimiento necesario para llegar a cumplir con éxito esta meta tan anhelada dentro de mi formación profesional.

A mis amados padres, por ser el pilar fundamental de mi vida, quienes con amor y paciencia, han sabido guiarme de la mejor manera en cada etapa de mi vida, depositando su confianza en mí, haciendo el más grande esfuerzo y sacrificio para que pueda cumplir cada uno de mis sueños.

A mi tía Olga, quien ha sido mi más grande inspiración, demostrándome día a día que la única discapacidad en la vida es una mala actitud.

Y de manera especial a mis queridos abuelitos, quienes con su vida ejemplar hicieron de mi un hombre de valor más no de éxito.

Fernando Marcial

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitivamente a Dios por iluminar mi vida y darme fuerza, paciencia y sabiduría para tomar las mejores decisiones.

A mis padres, a mi hermano y a toda mi familia por toda la confianza depositada en mí y por cada uno de sus consejos que me motivaron a salir adelante en la búsqueda del cumplimiento de cada una de mis metas propuestas.

A la Escuela de Ingeniería Química, a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de manera especial mi más sincero reconocimiento al Ing. Marco Chuiza e Ing. Carlos Medina por haberme brindado su colaboración en cuanto a conocimiento y criterio profesional, para el desarrollo de mi proyecto.

Al Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP-Petroecuador, en especial al Ing. Jorge Bolaños Jefe del Terminal y al personal del mismo, quienes con responsabilidad, gesto profesional me dieron la apertura y apoyo incondicional para el desarrollo del presente estudio.

Fernando Marcial

ABREVIATURA

PC	Protección Catódica
TPLR	Terminal de Productos Limpios Riobamba
ICCP	Protección Catódica por Corriente Impresa
IOP	Instant – OFF Potential
IR	Caída Óhmica (mV)
SIS	Sistema Integrado de Seguridad
CCM	Centro de Control de Motores
FEM	Fuerza Electromotriz (V)
E_c	Potencial Real (V)
NACE	Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión
i_{CP}	Corriente de Protección
C_{dl}	Doble Capa Electroquímica
V_c	Velocidad de Corrosión (mm/año)
E_o	Espesor de la plancha original o el espesor medido en la inspección anterior (mm)
E_m	Espesor de plancha medido en la inspección actual (mm)
T	Tiempo de servicio en el lapso considerado (años)
V_U	Vida Útil Estimada (años)
E_{min}	Espesor mínimo requerido según la norma de construcción utilizada (mm)
ρ	Resistividad (Ω*cm)
α	Separación entre los electrodos (cm)
R	Resistencia (Ω)
CC	Corriente Continua
DC	Corriente Discontinua
PSA	Cambio de Polarización (mV)
IP	Índice de Plasticidad (%)

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.1. Identificación del Problema	2
1.2. Justificación del Proyecto	2
1.3. Línea de base del Proyecto	4
1.4. Beneficiarios directos e indirectos	10
1.4.1. <i>Beneficiarios directos</i>	10
1.4.2. <i>Beneficiarios indirectos</i>	10
CAPÍTULO II	
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	11
2.1. Objetivo General	11
2.2. Objetivos Específicos	11
CAPÍTULO III	
3. ESTUDIO TÉCNICO	12
3.1. Localización del Proyecto	12
3.1.1. <i>Área de Estudio</i>	13
3.2. Ingeniería del Proyecto	14
3.2.1. <i>Corrosión en Tanques de Almacenamiento</i>	14
3.2.1.1. <i>Introducción</i>	14
3.2.1.2. <i>Mecanismos de Corrosión</i>	17

3.2.2.	<i>Tanques de Almacenamiento</i>	19
3.2.2.1.	<i>Tipos de Tanques de Almacenamiento</i>	19
3.2.3.	<i>Protección Catódica en Tanques de Almacenamiento</i>	23
3.2.3.1.	<i>Principio de la Protección Catódica</i>	23
3.2.3.2.	<i>Criterios de Protección Catódica</i>	24
3.2.3.3.	<i>Sistemas de Protección Catódica</i>	26
3.2.3.4.	<i>Protección Catódica Externa en Fondos de Tanques de Almacenamiento</i>	29
3.2.4.	<i>Metodología</i>	31
3.2.4.1.	<i>Recopilación de la documentación</i>	31
3.2.4.2.	<i>Reconocimiento del campo de investigación</i>	32
3.2.4.3.	<i>Toma de datos</i>	32
3.2.4.4.	<i>Registro de datos</i>	35
3.2.5.	<i>Métodos y Técnicas</i>	38
3.2.5.1.	<i>Método de Campo</i>	38
3.2.5.2.	<i>Técnicas para verificar la Eficiencia de la Protección Catódica</i>	38
3.2.6.	<i>Desarrollo del Proyecto</i>	40
3.2.6.1.	<i>Determinación de Espesores mediante Inspección por Ultrasonido</i>	40
3.2.6.2.	<i>Caracterización del Suelo</i>	42
3.2.6.3.	<i>Medida del Potencial Electroquímico</i>	46
3.2.6.4.	<i>Verificación del Cumplimiento de los Criterios de Protección Catódica</i>	47
3.2.7.	<i>Datos</i>	47
3.2.7.1.	<i>Datos Experimentales</i>	47
3.2.7.2.	<i>Datos Adicionales</i>	50
3.2.8.	<i>Cálculos y Resultados</i>	50
3.2.8.1.	<i>Cálculos Específicos</i>	50
3.2.8.1.1.	<i>Cálculo - Fondo del Tanque FTNK – 04 00 01 Gasolina Extra</i>	50
3.2.8.1.2.	<i>Cálculo del PSA – Tanque FTNK – 04 00 01 Gasolina Extra</i>	51
3.2.8.1.3.	<i>Cálculo del Índice de Plasticidad</i>	51
3.2.8.2.	<i>Resultados</i>	51

3.2.8.2.1.	<i>Inspección Ultrasónica mediante Medición de Espesores</i>	51
3.2.8.2.2.	<i>Caracterización del Suelo</i>	52
3.2.8.2.3.	<i>Protección Catódica de la Base de los Tanques de Almacenamiento</i>	55
3.2.8.2.4.	<i>Medición de la Fuerza Electromotriz (FEM) de los Ánodos de Sacrificio</i>	56
3.2.8.2.5.	<i>Verificación del Cumplimiento de los Criterios de Protección Catódica</i>	56
3.2.9.	<i>Análisis y Discusión de Resultados</i>	57
3.2.9.1.	<i>Análisis de los resultados de la Medición de Espesores</i>	57
3.2.9.2.	<i>Análisis de los resultados de la Caracterización del Suelo</i>	57
3.2.9.3.	<i>Análisis de los resultados de la Medición de Potenciales Electroquímicos</i>	57
3.3.	Requerimientos de Tecnología, Equipos y Maquinaria:	66
3.4.	Análisis de Costo/Beneficio del Proyecto	67
3.4.1.	<i>Costo de la Inspección Ultrasónica</i>	67
3.4.2.	<i>Costo de la Caracterización del Suelo</i>	68
3.4.3.	<i>Costo de la Medición del Potencial Electroquímico</i>	68
3.5.	Cronograma de Ejecución del Proyecto	69
CONCLUSIONES:		71
RECOMENDACIONES:		73
BIBLIOGRAFÍA:		
ANEXOS:		

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1: Propiedades Físicas de los Productos.	8
Tabla 2-1: Capacidades de Diseño de los Equipos Principales del Proceso.	9
Tabla 1-3: Condiciones Hidrometereológicas del TPLR.....	14
Tabla 2-3: Criterios recomendados para la Protección Catódica.	25
Tabla 3-3: Características de los Ánodos de Sacrificio.	27
Tabla 4-3: Propiedades de los Ánodos de Corriente Impresa.	29
Tabla 5-3: Plan de registro de Potenciales Electroquímicos tomados en campo.	33
Tabla 6-3: Plan de registro de espesores tomados en campo.	34
Tabla 7-3: Plan de registro de muestras del suelo tomadas en campo.	35
Tabla 8-3: Registro de Espesores de los Tanques de Almacenamiento de Combustibles.	36
Tabla 9-3: Registro de Potenciales de los Tanques de Almacenamiento de Combustibles.	37
Tabla 10-3: Medición de Espesores en el Fondo de los Tanques.	48
Tabla 11-3: Medición del Potencial ON Tanques de Almacenamiento de Combustibles.	48
Tabla 12-3: Medición del Potencial Natural Tanques de Almacenamiento de Combustibles.	49
Tabla 13-3: Medición del Potencial OFF Tanques de Almacenamiento de Combustibles.....	49
Tabla 14-3: Grado de Corrosividad en función de la Resistividad del Suelo.	50
Tabla 15-3: Tasas de Corrosión según la Resistividad.	50
Tabla 16-3: Resumen de cálculos realizados en los tanques.....	51
Tabla 17-3: Granulometría – Composición del Suelo.....	52
Tabla 18-3: Granulometría – Tamizado.....	52
Tabla 19-3: Límite Líquido.....	53
Tabla 20-3: Límite Plástico.....	53
Tabla 21-3: Resistividad del Suelo del Terminal de Productos Limpios Riobamba	54
Tabla 22-3: Cantidad de Humedad en las muestras tomadas.....	55
Tabla 23-3: Cambio de Polarización (PSA).....	55
Tabla 24-3: Mediciones de la Fuerza Electromotriz (FEM).	56

Tabla 25-3: Cumplimiento de los Criterios de Protección Catódica del Acero.	56
Tabla 26-3: Equipos para la Medición de Espesores.	66
Tabla 27-3: Equipos para la Caracterización del Suelo.	67
Tabla 28-3: Equipos para la Medición del Potencial Electroquímico.	67
Tabla 29-3: Análisis de Costo de la Medición de Espesores en el Fondo de los Tanques.	67
Tabla 30-3: Análisis de Costo de la Caracterización del Suelo del TPLR.	68
Tabla 31-3: Análisis de Costo de las Mediciones de Potencial Electroquímico.	68
Tabla 32-3: Costo Total de la Evaluación de la Efectividad del Sistema de PC.	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1: Esquema de Bloques del Terminal de Productos Limpios Riobamba.	6
Figura 1-3: Ubicación Geográfica del cantón Riobamba.	12
Figura 2-3. Ubicación Geográfica del Terminal de Productos Limpios Riobamba.	13
Figura 3-3. Celda de Corrosión Electroquímica.	15
Figura 4-3. Celda de Concentración de Oxígeno.	16
Figura 5-3. Corrosión por Corrientes Parásitas de un Fondo de Tanque sin Protección.	18
Figura 6-3. Corrosión Galvánica.....	18
Figura 7-3. Tanques Horizontales, Proceso de Licuefacción de GLP.	20
Figura 8-3. Tanque Vertical de Techo Fijo.....	21
Figura 9-3. Tanques Vertical de Techo Flotante.....	21
Figura 10-3. Tanque Esférico para Almacenamiento de GLP.	22
Figura 11-3. Cambio del Potencial de Corrosión Libre E_{corr}	23
Figura 12-3. Protección Catódica por a) Ánodos de Sacrificio y b) Corriente Impresa.	24
Figura 13-3. Protección Catódica con Ánodos de Sacrificio.	27
Figura 14-3. Protección Catódica con Corriente Impresa.....	28
Figura 15-3. Nuevas Formas de Sistemas Catódicos para Protección del Fondo del Tanque. ..	30
Figura 16-3. Esquema de la Protección con Ánodos Titanio – Óxidos Metálicos tipo Cinta.	31
Figura 17-3. Método de Interrupción de la Corriente para eliminar la Caída Óhmica (IR).....	39
Figura 18-3. Variación del Potencial de la estructura-suelo frente al tiempo de medida.....	40
Figura 19-3. Codificación de las muestras de Suelo.	43
Figura 20-3. Recolección de muestras en el Campo.	43
Figura 21-3. Medición de la Resistividad por el Método de Wenner.	44

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1-3. Curva Granulométrica.	52
Gráfico 2-3. Porcentaje (%) de Humedad vs Número de Golpes.....	54
Gráfico 3-3. Variación del Potencial Electroquímico respecto al Criterio de Protección Catódica del Acero +/- 100 mV (Cambio de Polarización).....	55
Gráfico 4-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque FTNK – 04 00 01 Gasolina Extra.	58
Gráfico 5-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque FTNK – 04 00 02 Gasolina Extra.	59
Gráfico 6-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque FTNK – 04 00 03 Gasolina Súper.	60
Gráfico 7-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque FTNK – 04 00 04 Gasolina Súper.	61
Gráfico 8-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque ATNK – 04 00 05 Diésel.....	62
Gráfico 9-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque ATNK – 04 00 06 Diésel.....	63
Gráfico 10-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque ATNK – 04 00 057 Slop.....	64
Gráfico 11-3. Diagrama Termodinámico potencial-pH.	65

LISTADO DE ANEXOS

- Anexo A.** Terminal de productos limpios Riobamba EP Petroecuador.
- Anexo B.** Diseño general del sistema de protección catódica.
- Anexo C.** Diagrama de conexionado.
- Anexo D.** Hoja de registro de espesores.
- Anexo E.** Hoja de registro de potenciales.
- Anexo F.** Informe de ensayo de contenido de humedad.
- Anexo G.** Informe de ensayo granulométrico por tamizado (agregado fino).
- Anexo H.** Informe de ensayo de determinación de límite líquido y límite plástico.
- Anexo I.** Medición de espesores.
- Anexo J.** Medición de potenciales electroquímicos.

RESUMEN

Se evaluó la Efectividad del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa aplicado en la base de los Tanques de Almacenamiento de Combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba, mediante la Técnica de la Interrupción de la Corriente. Para ello, se realizó un diagnóstico del estado actual de los tanques, midiendo el espesor en el fondo de dichas estructuras por inspección ultrasónica, pudiéndose conocer la velocidad de corrosión y el tiempo de vida útil, cuyos valores promedios fueron $V_c = 0.152$ mm/año y $VU = 17.3$ años respectivamente. Mediante análisis físico-químicos, se obtuvo que el suelo presenta un índice de agresividad relativamente bajo con una resistividad promedio de $12\ 500\ \Omega/\text{cm}$, además se pudo deducir que se trata de un suelo del tipo Árido Fino con un contenido de humedad de 23,09% y un índice de plasticidad de 12,52%. Posteriormente, se realizó la medición de potenciales, es así que la mayoría de los tanques cumplen con el criterio de polarización de +100 mV, a excepción de los tanques de Diésel cuyo potencial promedio es 56 mV aproximadamente. Sin embargo, teniendo en consideración dicha excepción se puede concluir que el Sistema de Protección Catódica es efectivo en la mayoría de los tanques. Finalmente, se recomienda programar ensayos ON-OFF anualmente para disponer de información estadística acerca del comportamiento de la Protección Catódica.

Palabras clave: <CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES>, <PROTECCIÓN CATÓDICA>, <CORROSIÓN>, <POTENCIAL ELECTROQUÍMICO>, <RESISTIVIDAD>, <POLARIZACIÓN>

ABSTRACT

The Effectiveness of the Cathodic Protection System by Printed Current applied in the base of the Fuel Storage Tanks in the Clean Products Terminal Riobamba was evaluated, by means of the Technique of the Interruption of the Current. For this, a diagnosis of the current state of the tanks was made, measuring the thickness in the bottom of said structures by ultrasonic inspection, being able to know the corrosion rate and the useful lifetime, whose average values were $V_c = 0.152$ mm / year and $VU = 17.3$ years respectively. By physical-chemical analysis, it was obtained that the soil has a relatively low aggressiveness index with an average resistivity of $12\ 500\ \Omega / \text{cm}$, in addition it could be deduced that it is a soil of the Arid Fino type with a moisture content of 23.09% and a plasticity index of 12.52%. Subsequently, the measurement of potentials was made, so that most tanks meet the polarization criterion of +100 mV, with the exception of Diesel tanks whose average potential is 56 mV approximately. However, taking into account this exception, it can be concluded that the Cathodic Protection System is effective in most tanks. Finally, it is recommended to schedule ON - OFF tests annually to have statistical information about the Cathodic Protection behavior.

Key Words: <EXACT AND NATURAL SCIENCES>, <CATHODIC PROTECTION>, <CORROSION>, <ELECTROCHEMICAL POTENTIAL>, <RESISTIVITY>, <POLARIZATION>

INTRODUCCIÓN

La corrosión es uno de los principales problemas que ocasionan grandes pérdidas económicas dentro del ámbito industrial. Es necesario destacar, que la industria petrolera no se encuentra exenta de este fenómeno, por la razón principal de que la pérdida de una pequeña porción de material representa una pérdida anual, como consecuencia de la corrosión en tanques, tuberías, empaques, codos y en cualquier otro tipo de material metálico que se encuentre en contacto directo con un medio agresivo. Por esta razón, es indispensable la utilización de la técnica de Protección Catódica (PC).

En el presente estudio experimental de medidas en campo, se analiza el Sistema de Protección Catódica aplicado a 7 casos reales, sobre la base de tanques metálicos de acero al carbono (SA36), utilizados para el almacenamiento de combustibles: Gasolina Extra, Gasolina Súper, Diésel Premium y Slop, los cuales están apoyados sobre losas de hormigón, en un terreno de resistividad promedio de 12 500 Ω /cm. Se evaluó la efectividad del Sistema de Protección Catódica (PC) por Corriente Impresa (ICCP), midiendo el potencial electroquímico y la caída óhmica (IR), mediante la Técnica de la Interrupción de la Corriente (IOP). La polarización alcanzada por la base de los tanques protegida aportó gran información y permitió verificar que en el fondo de cada uno de los tanques se cumpla alguno de los Criterios o Protocolo de Protección Catódica del Acero establecidos en la Normativa correspondiente. Es así, que los tanques objeto de investigación en el presente trabajo, cumplen con el criterio del cambio en la Polarización (un mínimo de polarización de 100 mV), establecido en la Norma NACE Estándar SP 0169-2013. Además, se caracterizó el tipo de suelo en el cual están enterrados los tanques, por medio del análisis de resistividad, porcentaje de humedad, granulometría por tamizado y determinación de límite líquido y límite plástico, determinando que el suelo es del tipo Árido Fino progresivamente menos corrosivo, de acuerdo al grado de corrosividad en función de la resistividad del suelo.

Por último, se determinó el espesor en el fondo de los tanques mediante Inspección Ultrasónica, para poder llevar a cabo una evaluación de la velocidad de corrosión y la estimación de la vida útil de los equipos (Tanques de Almacenamiento de Combustibles), garantizando de esta manera el abastecimiento de la demanda de productos limpios o derivados del petróleo hasta el año 2030.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

La vida útil de los equipos en la industria petrolera a menudo se ve afectada como resultado directo de la corrosión convirtiéndose en un problema diario universal en la Producción, Transporte y Almacenamiento del petróleo y sus derivados, por tal motivo en los últimos años se han generado grandes adelantos en su detección y en los tratamientos aplicados para controlar este problema, que en la mayoría de los casos está presente inevitablemente en todas las fases de la industria del petróleo; más aún cuando dichos equipos están en contacto directo con hidrocarburos o sus derivados pues como es de conocimiento su naturaleza química es altamente corrosiva, tal es el caso de los Tanques de Almacenamiento de Productos Limpios que forman parte del Terminal de Riobamba operado en la actualidad por la empresa estatal EP-Petroecuador.

En el Terminal de Productos Limpios Riobamba tomando como base los Criterios de Protección Catódica del acero, el presente trabajo de investigación pretende Evaluar la Efectividad del Sistema de Protección Catódica (PC) mediante la técnica de la Interrupción de la Corriente, potencial-off (IOP: instant-off potential) con la finalidad de verificar si dicho sistema efectivamente está mitigando la acción corrosiva del ambiente para aportar favorablemente a la conservación de los tanques de Almacenamiento de Productos Limpios, Gasolina Extra y Diésel Premium derivados del petróleo y, a la vez contribuir a la reducción de gastos directos e indirectos tanto en el aspecto económico como en el humano.

1.2. Justificación del Proyecto

Debido a la gran importancia que tiene la conservación de los tanques de Almacenamiento de Productos Limpios derivados del petróleo, dentro de las diversas actividades que lleva a cabo la industria petrolera se requiere establecer un programa de atención en todos los aspectos inherentes, tomando en consideración la existencia de muchas formas de corrosión que pueden

provocarles una amplia gama de daños, la protección contra la corrosión exterior de los tanques se lleva a cabo mediante un Sistema de Protección Catódica para mitigar los efectos más comunes relacionados tanto al exterior, como al interior y fondo de un tanque. Razón por la cual es indispensable establecer cada uno de los requerimientos técnicos y documentales mínimos, los cuales juegan un papel importante dentro de la implementación, diseño, construcción, mantenimiento, inspección y pruebas que demandan los Sistemas de Protección Catódica para los tanques de almacenamiento que contengan hidrocarburos.

Generalmente los tanques se encuentran expuestos a distintos factores que influyen de manera directa o indirecta en los procesos de corrosión, entre los principales tenemos:

- Las características del terreno.
- Tipo de material de construcción del tanque.
- El contenido de humedad.
- El pH.
- La concentración de oxígeno, entre otras.

Dichos factores influyen directamente en la velocidad que presenta el acero para permitir el desgaste desde sus características originales de construcción, es decir, en la oxidación de los tanques; la misma que debe ser objeto de estudio debido a que provoca de manera inevitable daños en la infraestructura de almacenamiento como son sus paredes, fondos y accesorios, disminuyendo la vida útil y eficiencia de equipos e instrumentos de medición.

Por lo anteriormente expuesto, la presente investigación está orientada a la realización de un minucioso estudio de la Efectividad del Sistema de Protección Catódica empleado en los tanques de Almacenamiento de Productos Limpios del Terminal de Riobamba, debido a la necesidad de proteger la degradación eventual del acero de los tanques, incluyendo los componentes y accesorios de los cuales están formados dichos tanques; con el propósito de poder evitar los problemas antes mencionados que a futuro podrían desembocar en graves consecuencias a causa de la corrosión en los tanques, pudiendo desencadenar en el derrame de los productos que contienen; lo cual conlleva consigo accidentes operacionales, paradas por reparación y mantenimiento de los terminales y en el peor de los casos se pueden presentar pérdidas humanas y económicas.

Además, la importancia de este proyecto cuenta con un enfoque medio ambiental, el cual radica en la necesidad de que el sistema de protección catódica en estudio sea identificado y evaluado en la Matriz de Aspectos e Impactos Ambientales.

1.3. Línea de base del Proyecto

Por requerimientos de PETROCOMERCIAL, actualmente EP PETROECUADOR, la Ingeniería del proyecto se llevó a cabo mediante dos fases, la primera radica en la construcción del Terminal de Productos Limpios de Riobamba y la segunda fase, que consiste en la Ingeniería del Poliducto Ambato – Riobamba, la Estación de Bombeo de Ambato, la Estación Reductora y Recepción de Riobamba.

En el Terminal de Distribución de Combustibles de Riobamba, el abastecimiento de productos procedentes desde el Terminal de Ambato, se lo realiza por las dos vías siguientes:

- Por auto – tanques.
- Mediante un poliducto de 6” de diámetro y una longitud de 49,64 km.

Para el abastecimiento de productos a través del poliducto, se dispone de una estación de bombeo en el Terminal de Ambato, misma que consiste en dos bombas booster con un arreglo uno más uno, asimismo las bombas principales cuentan con un arreglo uno más uno. Desde esta estación de bombeo, los productos son enviados desde el Terminal de Ambato, ya sea adquiriéndolos desde los tanques de ese Terminal, o rebombeando desde el poliducto Quito - Ambato. El Terminal de Ambato dispone de una trampa de lanzamiento y el Terminal de Riobamba de una trampa de recepción; tanto en el Terminal de Ambato como en el de Riobamba se cuenta con un Sistema de Medición de Productos. En el Terminal de Riobamba, luego de que el producto es medido, pasa a un Manifold de distribución, por medio del cual se envían los productos de Gasolina Extra, Gasolina Súper y Diésel Premium por líneas independientes a los tanques.

Para el caso del abastecimiento por auto-tanques, existe la disponibilidad de islas de descarga y una sala de bombas de descarga, con una bomba para cada producto; esto es, una para gasolina súper, una para gasolina extra y una para diésel, teniendo además dos bombas en stand-by, una para las gasolinas y la otra para diésel.

El Terminal está provisto de siete tanques aptos para almacenar productos limpios, de los cuales tres son de techo cónico y cuatro de techo flotante, dando un total de almacenamiento de 76 600 barriles; tres islas de carga para auto-tanques con cinco puntos de despacho, siendo dos para carga de gasolina extra, dos para carga de diésel y uno para carga de gasolina súper; dos islas de descarga con tres puntos de descarga, uno para gasolina súper, otro para gasolina extra y el otro para diésel; además de todas las instalaciones conexas indispensables para su óptimo y correcto funcionamiento.

El terminal a más de proveer el servicio de almacenamiento, lleva a cabo la medición de los productos, despachos a granel a los auto-tanques, descarga de auto-tanques y la transferencia de productos entre tanques; para llevar a cabo todo lo anteriormente mencionado, el TPLR está conformado por los siguientes sistemas para manejar los productos:

- a) Sistemas de Proceso.
- b) Sistemas de Servicios Industriales.
- c) Sistemas de Servicios Generales.
- d) Sistemas de Seguridad del Proceso.

Además, dispone de: Sistema de Control y Seguridad, Edificaciones, Vialidad y Acceso y Sistemas de Comunicaciones.

En la Figura 1-1 se encuentra el Diagrama en Bloques del Terminal, dónde se ilustran las operaciones principales del proceso del TPLR.

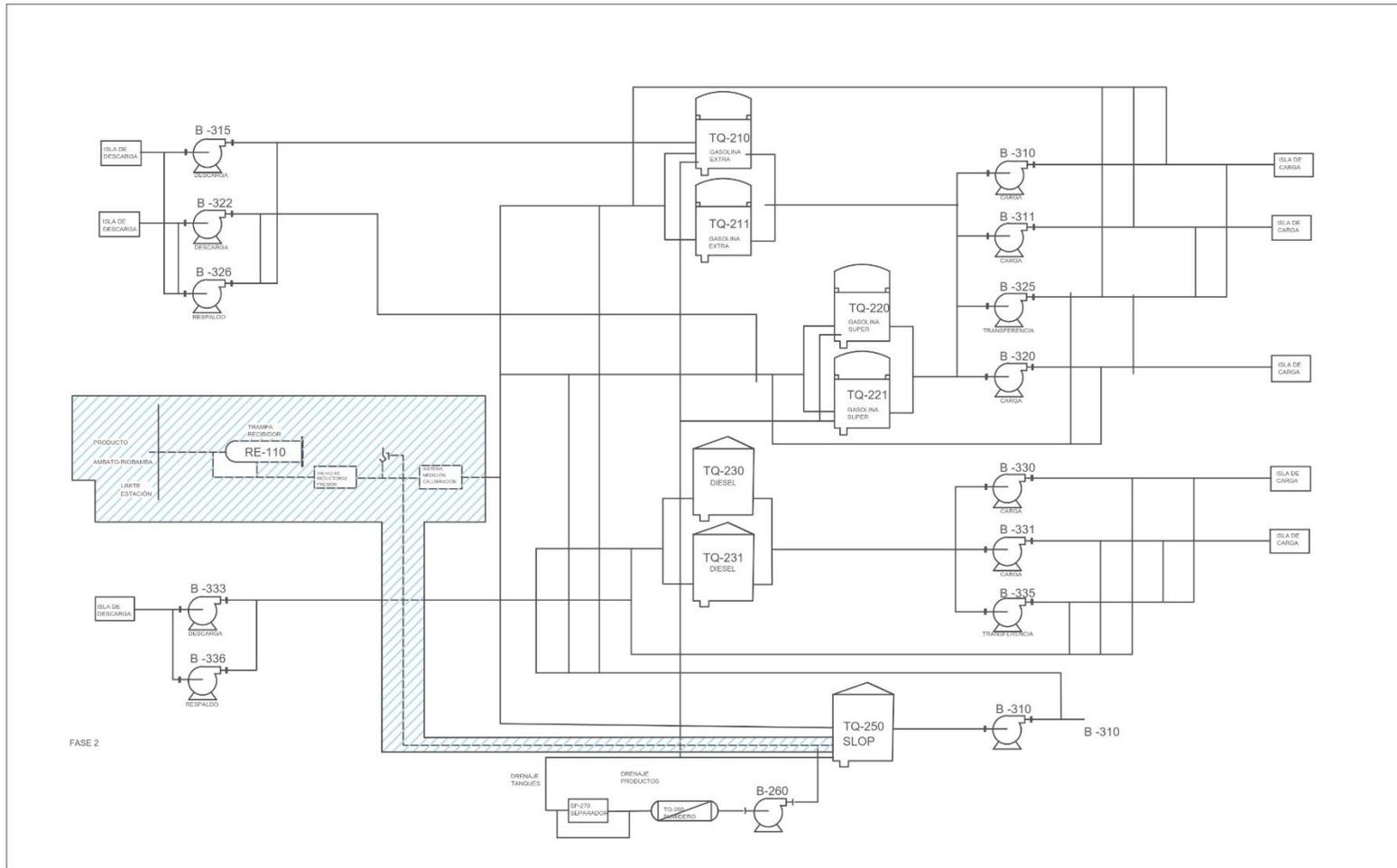


Figura 1-1: Esquema de Bloques del Terminal de Productos Limpios Riobamba.

Fuente: (TPLR, Manual de Operaciones y Mantenimiento, 2018).

Los Sistemas de Proceso en el Terminal son:

- Descarga de Productos, Bombeo, Medición y Fiscalización.
- Tanques de Almacenamiento de Productos.
- Carga de Productos, Bombeo, Medición y Fiscalización.
- Drenajes Cerrados.
- Drenajes de Aguas Lluvias.

Los Sistemas de Servicios Industriales en el Terminal son:

- Suministro y Distribución Eléctrica.
- Sistema Scada de Control de Procesos.

Los Sistemas de Servicios Generales en el Terminal son:

- Almacenamiento y Transferencia de Diésel.
- Almacenamiento y Transferencia de Gasolina Súper.
- Tratamiento de Aguas Negras y Grises.
- Tratamiento de Agua Cruda: Producción y Distribución de Agua Potable.

Los Sistemas de Seguridad del Proceso en el Terminal son:

- Agua contra Incendio.
- Espuma contra Incendio.
- Detección de Fuego.

Adicionalmente, se cuenta con el Sistema Integrado de Seguridad (SIS), Centro de Control de Motores (CCM), Sala de Control y todas las edificaciones requeridas para complementar y soportar una adecuada operación del Terminal.

Cabe recalcar que, es necesario e indispensable conocer las propiedades físicas de los productos, mismas que se muestran a continuación en la Tabla 1-1:

Tabla 1-1: Propiedades físicas de los productos

Producto	Lugar	Temperatura (Fahrenheit)	Presión Atmosférica (psia)	Gravedad Específica	Viscosidad (cSt)	Presión Vapor (psia)
Gasolina	Nivel del mar	75	14.7	0.7125	0.7	7.5
	Ambato	55.04	10.53	0.7432	0.91	6.2
	Riobamba	50.9	9.88	0.745	0.94	6.2
Diésel	Nivel del mar	75	14.7	0.8425	7	0.1
	Ambato	55.04	10.53	0.8519	8.97	0.15
	Riobamba	50.9	9.88	0.86	10	0.15

Fuente: Terminal de Productos Limpios Riobamba, 2018.

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Por otro lado, la capacidad de almacenamiento en el TPLR es la siguiente:

TANQUES DE ALMACENAMIENTO:

- Dos Tanques de Gasolina Extra de 15 000 Bls cada uno.
- Dos Tanques de Gasolina Súper de 4 000 Bls cada uno.
- Dos Tanques de Diésel de 18 800 Bls cada uno.
- Un Tanque de Slop de 1 000 Bls.

Con los datos anteriores se adquirió las características generales de los equipos que se indican a continuación en la Tabla 2-1:

Tabla 2-1: Capacidades de Diseño de los Equipos Principales del Proceso.

SISTEMA	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS EQUIPOS					
	TAG	Descripción	Configuración		Capacidad	Condición de Diseño (P@T)
			Inicial	Futuro		
Bombeo de Descarga	TR-B-315/322/326	Bombas de descarga de gasolina	3	N/A	400 GPM 53 PSIG	ANSI 300# RF
	TR-B-333/336	Bombas de descarga de diésel	2	N/A	400 GPM 52.4 PSIG	ANSI 300# RF
Almacenamiento	TR-TQ-210/211	Tanque de Almacenamiento de Gasolina Extra	2	N/A	15.000 bbls nominal	ATM @ 120 F
	TR-TQ-220/221	Tanque de Almacenamiento de Gasolina Súper	2	N/A	4.000 bbls nominal	ATM @ 120 F
	TR-TQ-230/231	Tanque de Almacenamiento de Diésel	2	N/A	18.800 bbls nominal	+1 (oz/in ²) / -2 (oz/in ²) @ 120 F
Bombeo de Carga	TR-B-310/311/325/320	Bombas de carga de gasolina	2	N/A	400 GPM 52.4 PSIG	ANSI 300# RF
	TR-B-330/331/335	Bombas de carga de diésel	2	N/A	400 GPM 52.4 PSIG	ANSI 300# RF

Fuente: Terminal de Productos Limpios Riobamba, 2018.

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Finalmente, el moderno Terminal cuenta con todas las Certificaciones Internacionales establecidas, lo cual avala que estas instalaciones operan bajo las Normas y Estándares Ambientales y además, garantiza el abastecimiento de la demanda de productos limpios o derivados del petróleo a las provincias de Chimborazo, Bolívar, Azuay y Morona Santiago, hasta el año 2030.

1.4. Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1. Beneficiarios directos

El principal beneficiario con la ejecución del presente proyecto técnico será exclusivamente el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP Petroecuador.

1.4.2. Beneficiarios indirectos

La población aledaña al Terminal al disminuir los riesgos de pérdidas humanas y contaminación del medio ambiente a causa del derrame de los productos que contienen los tanques de almacenamiento de combustibles.

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. Objetivo General

“Evaluar la Efectividad del Sistema de Protección Catódica aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP Petroecuador”

2.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado actual de los tanques de almacenamiento y el grado de corrosión en la base de los mismos mediante inspección ultrasónica.
- Analizar la influencia de la resistividad del terreno, como un parámetro evaluador de la corrosividad del medio frente a la estructura de acero protegida.
- Realizar mediciones de potencial electroquímico en determinados puntos seleccionados de cada uno de los tanques de almacenamiento de combustibles mediante el Método de Interrupción de la Corriente (IOP: instant-off potential).
- Realizar mediciones de Fuerza Electromotriz (FEM) para conocer si los ánodos de sacrificio empleados en el sistema tienen aún capacidad operativa.
- Verificar que en la base de cada uno de los tanques se cumpla los Criterios o Protocolo de Protección Catódica del Acero establecidos en la Normativa correspondiente.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1. Localización del Proyecto

El cantón Riobamba está ubicado a 2 750 metros sobre el nivel del mar, a 1° 41´ 46” latitud Sur; 0° 3´ 36” longitud Occidental del meridiano de Quito. Está situado a 188 km al Sur de la ciudad de Quito, en la región Sierra Central y es la capital de la Provincia de Chimborazo.

Según datos registrados en el censo del año 2010, el cantón Riobamba cuenta con 225.741 habitantes. La temperatura media de Riobamba es de 17 °C, presenta un 63% de humedad y posee un clima con condiciones de un entorno frío.

Los límites del cantón Riobamba son:

- Norte: Cantones de Guano y Penipe
- Sur: Cantones de Colta y Guamote
- Este: Cantón Chambo
- Oeste: Provincia de Bolívar

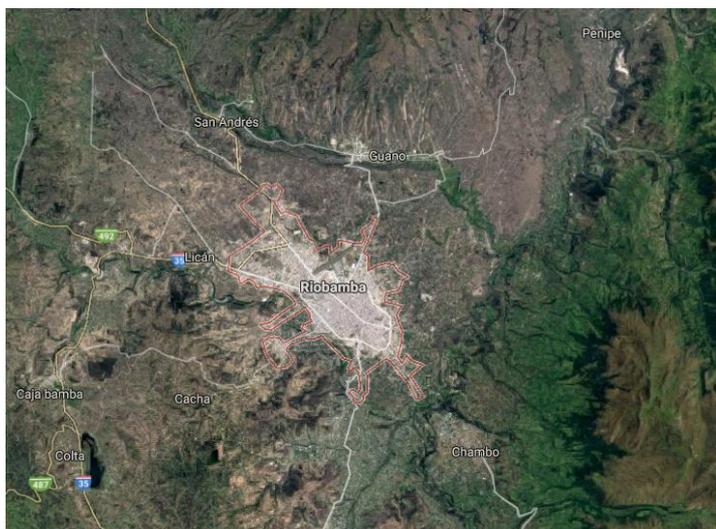


Figura 1-3: Ubicación Geográfica del cantón Riobamba.
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Es importante conocer que según la nueva Constitución de la República del Ecuador, la provincia de Chimborazo y por ende el cantón Riobamba, pertenecen a la región 3, la cual está conformada por las provincias de Tungurahua, Pastaza, Chimborazo y Cotopaxi.

3.1.1. Área de Estudio

El presente proyecto Técnico se lleva a cabo en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP- Petroecuador ubicado entre las parroquias Calpi y San Juan a 15 km de la ciudad de Riobamba, con una altitud de 3.230 msnm.

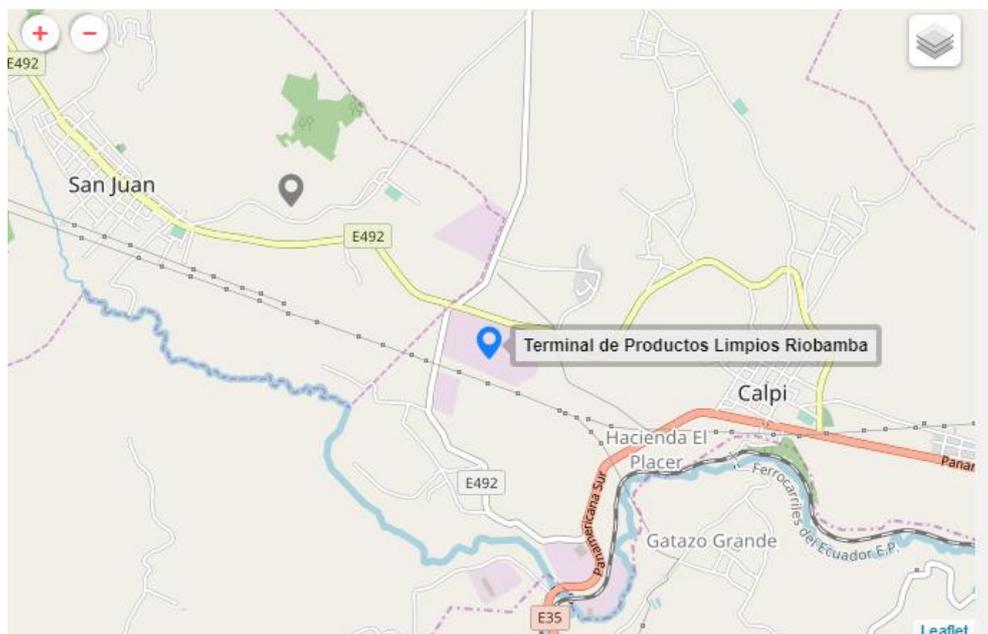


Figura 2-3. Ubicación Geográfica del Terminal de Productos Limpios Riobamba.
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Las condiciones Hidrometeorológicas del mencionado Terminal corresponde a un clima Ecuatorial Mesotérmico Seco, dicho clima se encuentra asociado a los valles interandinos templados con temperaturas medias anuales que bordean entre 10 y 20 °C y precipitaciones bajo un régimen bimodal, con lluvias máximas en los meses de abril y octubre.

Las características hidrometeorológicas del Terminal de Productos Limpios Riobamba se describen en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3: Condiciones Hidrometereológicas del TPLR.

PARÁMETRO	UNIDAD	TERMINAL RIOBAMBA
Ubicación	-	Entre Calpi y San Juan
Altitud	msnm	3 230
Precipitación media anual	mm	687
Humedad Relativa	%	80 – 85
T mínima absoluta	°C	-3,6
T media	°C	10,5
T máxima absoluta	°C	22,0
T media suelo	°C	14,6

Fuente: Terminal de Productos Limpios Riobamba, 2018.

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2. Ingeniería del Proyecto

3.2.1. Corrosión en Tanques de Almacenamiento

3.2.1.1. Introducción

La corrosión puede definirse como el deterioro de un metal que resulta de una reacción con su entorno. Básicamente, la corrosión de las estructuras de acero es un proceso electroquímico. La condición principal para que se produzca el proceso de corrosión, es la existencia de áreas con diferentes potenciales electroquímicos en la superficie del metal. Estas áreas deben estar conectadas eléctricamente y en contacto con un electrolito. Existen cuatro componentes en una celda de corrosión (API 651, 1997, p. 4).

1. Un ánodo.
2. Un cátodo.
3. Un camino metálico que conecta el ánodo y el cátodo.
4. Y un electrolito.

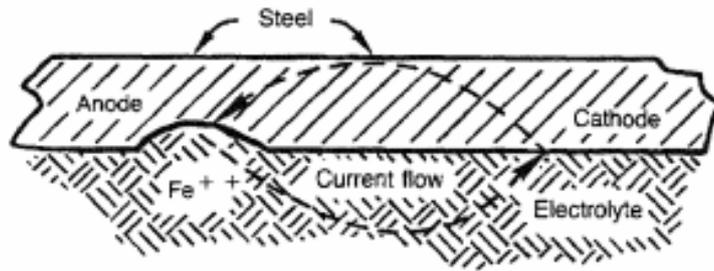


Figura 3-3. Celda de Corrosión Electroquímica.

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Cada componente tiene una función específica dentro del proceso de corrosión, lo cual se describe a continuación:

- a) En el ánodo, el metal base es disuelto (o corroído) al liberar electrones para formar iones metálicos positivos. La reacción anódica del acero es $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$.
- b) En el cátodo, las reacciones químicas resultan del empleo de electrones liberados en el ánodo. En el cátodo no se presenta ningún tipo de corrosión. Una reacción catódica típica es $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$.
- c) La ruta metálica provee un camino destinado para que los electrones liberados en el ánodo fluyan hacia el cátodo.
- d) El electrolito contiene iones y es el encargado de conducir la corriente positiva del ánodo al cátodo a través de un movimiento iónico. Además, el electrolito contiene iones de carga negativa llamados aniones e iones de carga positiva llamados cationes, los cuales son atraídos por el ánodo y el cátodo, respectivamente. El suelo húmedo es el electrolito más utilizado para las superficies externas del fondo del tanque, en cambio el agua y los lodos son los electrolitos que se usan con mayor frecuencia para las superficies internas (API 651, 1997, p. 4).

Existen varias formas de corrosión. Los dos tipos más comunes relacionados a los fondos de los tanques son la corrosión general y la originada por picaduras. La corrosión general se caracteriza por la generación de miles de células de corrosión microscópicas en un área de la superficie del metal, lo cual da como resultado una pérdida de metal relativamente uniforme. Mientras que en la corrosión por picaduras, las celdas individuales de corrosión son más grandes y es posible la identificación de áreas distintas de ánodo y cátodo. En este caso la pérdida de metal suele generalmente concentrarse dentro de áreas relativamente pequeñas con áreas sustanciales de la superficie que no han sido afectadas por la corrosión (API 651, 1997, p. 4).

La composición del metal es un parámetro que se encarga de determinar qué áreas de una superficie metálica se convierten en ánodos o cátodos. Las diferencias en el potencial electroquímico presentes en las áreas adyacentes podrían ser el resultado de una distribución desigual de elementos de aleación o contaminantes dentro de la estructura metálica. La corrosión también tiene su origen a partir de las diferencias entre el metal de soldadura, la zona afectada por el calor y el metal principal (API 651, 1997, p. 4).

La ubicación de las áreas catódicas en la superficie del metal también se ve influenciado por las propiedades físicas y químicas del electrolito. Así por ejemplo, las diferentes concentraciones de oxígeno entre áreas en una superficie de acero podrían generar diferencias en el potencial. Las áreas que presentan concentraciones de oxígeno más bajas tienden a volverse anódicas y las áreas que tienen mayores concentraciones de oxígeno se vuelven catódicas, generando corrosión en áreas donde la arcilla u otros desechos entran en contacto con un fondo de tanque de acero sobre una cama de arena o donde un tanque está colocado en dos tipos diferentes de suelo. (Véase la Figura 4-3) (API 651, 1997, p. 4).

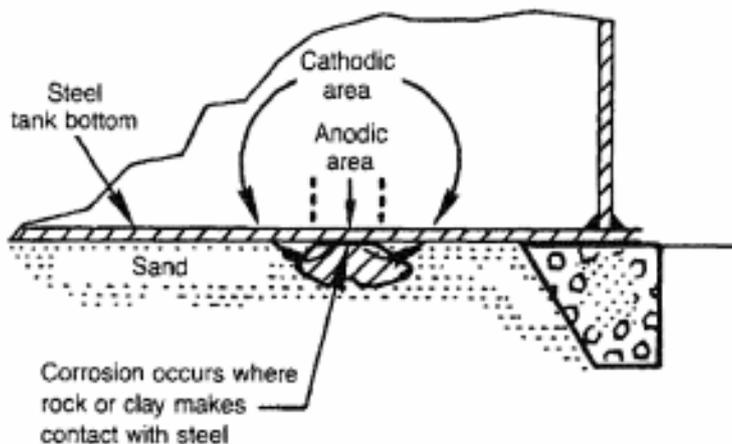


Figura 4-3. Celda de Concentración de Oxígeno.

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

El tipo y la tasa de corrosión en una estructura en contacto con el suelo se ven afectados sustancialmente por las características que presenta el suelo. Por ejemplo las sales disueltas tienen una influencia sobre la capacidad de carga de corriente del electrolito del suelo y a su vez permiten determinar las velocidades de reacción en las áreas anódica y catódica. La corrosión se ve influenciada de forma compleja por acción del contenido de humedad, el pH, la concentración de oxígeno, entre otros factores (API 651, 1997, p. 4).

3.2.1.2. *Mecanismos de Corrosión*

A continuación, se presenta una breve descripción de los principales mecanismos considerados dentro de la Corrosión de los Tanques de Almacenamiento de Combustibles.

a) Corrosión por Corrientes Parasitas

Las corrientes parásitas o corrientes de interferencia viajan a través del electrolito del suelo y hacia estructuras a las cuales no están destinadas. Generalmente, la estructura que es afectada recoge las corrientes de interferencia del electrolito; estas corrientes tienen una fuente que no está conectada eléctricamente a la estructura afectada. La corriente parásita puede ingresar a un fondo de tanque no protegido y viajar a través del camino de baja resistencia del metal hacia un área del tanque más cercano a la estructura protegida. Aquí la corriente se descarga nuevamente en el electrolito (suelo) en el punto B con el metal resultante y potencialmente las corrientes parásitas más dañinas son las corrientes directas. Dichas corrientes son generadas a partir de sistemas de energía eléctrica de DC con conexión a tierra, esto incluye ferrocarriles eléctricos, máquinas de soldadura, metros, generadores termoeléctricos y sistemas de protección catódica de corriente impresa. El grado de corrosión o pérdida de metal resultante de las corrientes de interferencia depende de los siguientes factores (API 651, 1997, p. 5).

- a) La ruta y separación de las estructuras interferentes y afectadas, además de la ubicación de la fuente de corriente interferente.
- b) Magnitud y densidad de la corriente.
- c) Calidad o ausencia de un recubrimiento sobre las estructuras afectadas.
- d) La presencia y ubicación de uniones mecánicas con un nivel elevado de resistencia eléctrica.

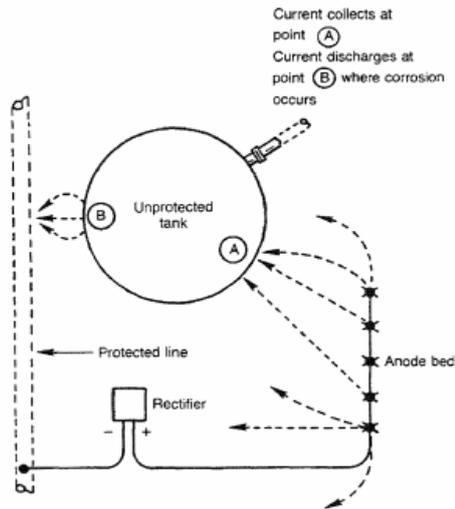


Figura 5-3. Corrosión por Corrientes Parásitas de un Fondo de Tanque sin Protección.
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

b) Corriente Galvánica

La corrosión galvánica tiene lugar cuando dos metales con diferentes composiciones, es decir, diferentes potenciales electroquímicos, se conectan en un electrolito (normalmente suelo). En este caso la corriente fluye del metal más activo o ánodo al metal menos activo o cátodo (API 651, 1997, p. 5).

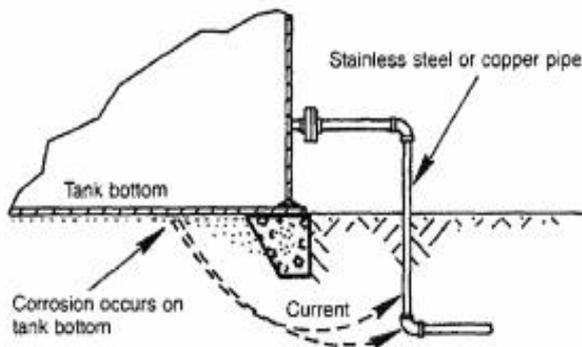


Figura 6-3. Corrosión Galvánica.
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

c) Corrosión Interna

La corrosión puede ocurrir en la superficie interior del fondo de un tanque. La naturaleza o extensión de este mecanismo de corrosión depende de varios factos que están asociados con la composición del fluido en contacto con el fondo del tanque de acero. A continuación, se presentan los factores principales que influyen en el grado o nivel de corrosión (API 651, 1997, p. 5).

- a) Conductividad.
- b) Sólidos Suspendidos.
- c) Nivel de pH.
- d) Gases disueltos como CO₂, H₂S u O₂.

3.2.2. Tanques de Almacenamiento

Los Tanques de Almacenamiento son recipientes destinados para el almacenamiento de productos inflamables o combustibles derivados del petróleo (NRF-017-PEMEX, 2007, p.6).

3.2.2.1. Tipos de Tanques de Almacenamiento

Los Tanques de Almacenamiento para productos limpios se clasifican de la siguiente manera:

- Tanques Horizontales.
- Tanques Verticales.
- Tanques Esféricos.

a) Tanques Horizontales

Generalmente, los Tanques Horizontales se caracterizan por ser destinados para el almacenamiento de volúmenes relativamente bajos debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión.

Se utilizan para almacenar volúmenes pequeños de productos de diferente naturaleza química como: ácidos, álcalis, combustibles, lubricantes, etc. Además, este tipo de tanques pueden ser: aéreos (aboveground storage) o subterráneos (underground storage). Los extremos de estos tanques pueden ser semielípticos o semiesféricos, como se puede ver en la Figura 7-3. (TPLR, Manual de Operaciones y Mantenimiento, 2018).



Figura 7-3. Tanques Horizontales, Proceso de Licuefacción de GLP.
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

b) Tanques Verticales

Este tipo de tanques permiten el almacenamiento de grandes cantidades volumétricas y solo pueden ser usados a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas.

Los Tanques verticales, se emplean para almacenar productos de diferente naturaleza química como: ácidos, álcalis, hidrocarburos, efluentes industriales, etc., es decir, tienen una gran capacidad de almacenamiento. Estos tanques pueden ser clasificados considerando el tipo de cobertura, tipo de techo y tipo de fondo, de la siguiente manera:

- Tipo de Cobertura: abiertos o techados.
- Tipo de Techo: fijo o flotante. Techos flotantes de lámina o de membrana.
- Tipo de Fondo: plano o cónico.

La selección de los Tanques Cilíndricos dependerá del volumen requerido, el espacio disponible, las inversiones exigidas, etc. En las Figuras 8-3 y 9-3 se puede apreciar unos ejemplos de Tanques Verticales. (TPLR, Manual de Operaciones y Mantenimiento, 2018).



Figura 8-3. Tanque Vertical de Techo Fijo.
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.



Figura 9-3. Tanque Vertical de Techo Flotante.
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

c) Tanques Esféricos

Este tipo de tanques son construidos utilizando chapas de acero, los cuales se sostienen por medio de columnas las cuales deben ser calculadas para soportar el peso de la esfera durante la prueba hidráulica. De manera similar a los tanques horizontales todas las soldaduras deben ser radiografiadas con el propósito de descartar fisuras internas que se pudieran haber producido durante el montaje. Los Tanques Esféricos, son empleados para almacenar líquidos bajo cierta presión como fertilizantes, gas licuado natural en estado líquido o criogénico, nitrógeno líquido, etc.

Además estos tanques cuentan con una escalera para acceder a la parte superior con la finalidad de dar mantenimiento a las válvulas de seguridad, aparatos de telemedición, etc. A continuación, en la Figura 10.3 se encuentra un ejemplo de Tanques Esféricos. (TPLR, Manual de Operaciones y Mantenimiento, 2018).



Figura 10-3. Tanque Esférico para Almacenamiento de GLP.
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.3. Protección catódica en tanques de almacenamiento

3.2.3.1. Principio de la protección catódica

El principio fundamental de la Protección Catódica es imprimir una corriente externa en el material, para poder forzar el potencial del electrodo a la región inmune o a su vez para dar protección contra la corrosión localizada, por debajo de un potencial de protección. Es decir, el material se convierte en el cátodo en una celda electroquímica; el cual se encuentra polarizado catódicamente por curvas de corriente de potencial como se puede observar en la Figura 11-3 (Bardal, 2003, p. 266).

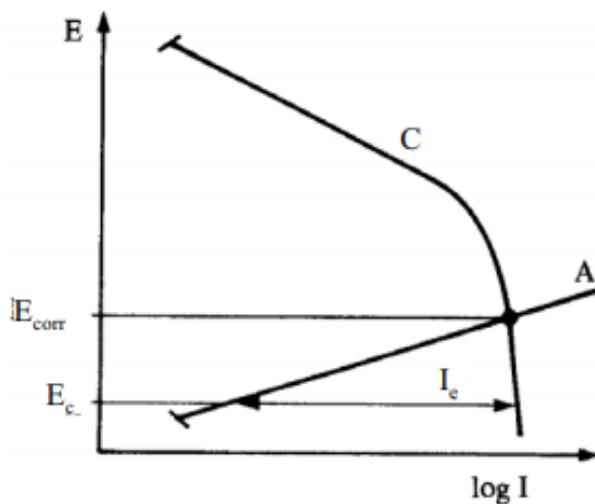


Figura 11-3. Cambio del potencial de corrosión libre E_{corr} .

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

En el potencial real E_c se genera una corriente externa, la cual resulta de la diferencia entre la corriente catódica y la anódica. En base a este potencial, la corriente anódica en el material protegido presenta un nivel muy bajo, en otras palabras la corriente externa es casi igual a la corriente catódica. Existen dos maneras diferentes para producir la corriente externa, las cuales se mencionan a continuación (Bardal, 2003, p. 267).

- Por medio de un material menos noble en forma de ánodos de sacrificio, los cuales están conectados por conductores metálicos a la estructura destinada a ser protegida.
- Por medio de una fuente de corriente externa o rectificador. El control del rectificador se lo puede realizar mediante el empleo de un electrodo de referencia.

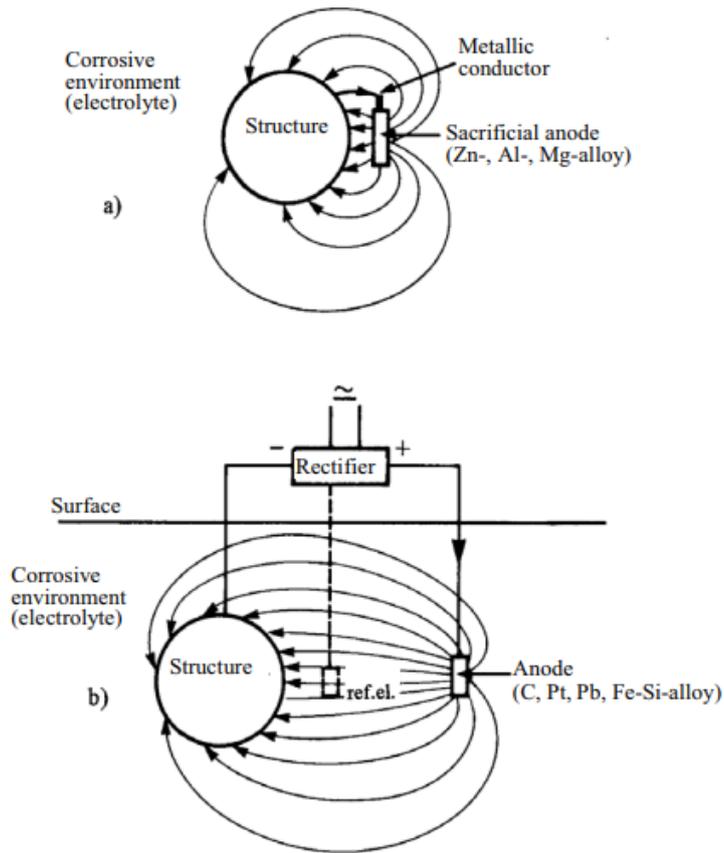


Figura 12-3. Protección Catódica por a) Ánodos de Sacrificio y b) Corriente Impresa.

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.3.2. Criterios de Protección Catódica

En la Tabla 2-3 se presentan los Criterios de Protección Catódica recomendados por la Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión (NACE).

Tabla 2-3: Criterios recomendados para la Protección Catódica.

Criterio	Medición	Comentarios de la Condición
Potencial de menos de -0,85 V contra Cu – CuSO ₄ saturado para acero.	Corriente encendida (IR_{Ω} presente)	Significativo en algunos entornos. Incierto debido a IR_{Ω} .
Polarización Catódica más de 300 mV activa al potencial de corrosión de la estructura.	Corriente encendida (IR_{Ω} presente)	Incierto debido a las interferencias de IR_{Ω} .
Polarización Catódica más de 100 mV activa al potencial de corrosión de la estructura.	Corriente interrumpida (IR_{Ω} ausente)	Técnicas de interrupción difíciles de implementar.
Polarización Catódica a un potencial donde se logra un comportamiento de Tafel.	Corriente variable (IR_{Ω} presente)	Difícil de determinar en presencia de IR_{Ω} .
La corriente de protección neta fluye desde el electrolito a la superficie de las estructuras.	No especificado	Correcto en teoría. Difícil de determinar en la práctica.

Fuente: NACE Estándar SP-01-69.

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.3.3. *Sistemas de Protección Catódica*

Existen dos tipos de Sistemas de Protección Catódica:

- a) Ánodos de Sacrificio.
- b) Corriente Impresa.

En los Tanques de Almacenamiento de Combustibles es necesario aplicar al menos uno.

a) Ánodos de Sacrificio:

La fuente de corriente de este sistema es la que tiene su origen en la diferencia de potencial entre el material del ánodo y la estructura a proteger. Este tipo de instalación se caracteriza porque el material de los ánodos se consume dependiendo de la demanda de corriente, de protección de la estructura a proteger, de la resistividad del electrolito y del material usado como ánodo, durante el proceso de descarga del mismo (NRF-017-PEMEX, 2007, p. 7).

Generalmente, solo en los tanques de pequeño diámetro es posible aplicar los Sistemas de Ánodos de Sacrificio para Protección Catódica.

La selección de los ánodos galvánicos para instalaciones sobre el suelo debe realizarse en base a la utilización de cualquiera de los siguientes materiales:

- a) Aleaciones de magnesio con alto potencial.
- b) Aluminio.
- c) Zinc.

Las principales características de estos ánodos se presentan en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Características de los Ánodos de Sacrificio.

Aleación	Medio	Consumo (kg/A-año)	Capacidad Teórica (A-h/kg)	Eficiencia	Capacidad Práctica (A-h/kg)
Magnesio					
05-1.3 % Mn	Suelo/Agua dulce	3,98	2 200	50	1 100
5-7 % Al / 2- 4 % Zn	Suelo/Agua dulce				
Zinc					
0.3-05 % Al / 0.0025-1 % Cd	Agua de mar	10,69	820	90 - 95	740 - 780
Aluminio					
0.35-05 % Zn	Agua de mar	2,94	2 980	85 - 95	2540-2830
6-8 % Zn / 0.1-0.2 % Sn	Fango de mar				
2-5 % Zn / 0.02-0.05 % In / 0.5-1 % Mg	Fango de mar				

Fuente: Manual de Ingeniería de Diseño de Sistemas de Protección Catódica.

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

El número y distribución de ánodos requeridos para un sistema de protección catódica de tanques de almacenamiento de combustibles sobre el suelo, obligatoriamente debe ser conforme al diseño del sistema. Además es necesario considerar los factores que influyen en la distribución de la corriente sobre la geometría de la estructura, al momento de calcular la colocación de los ánodos (NRF-017-PEMEX, 2007, p. 7).

Los ánodos deben ser distribuidos uniformemente alrededor del tanque o bajo los tanques de nueva construcción según el esquema de la Figura 13-3.

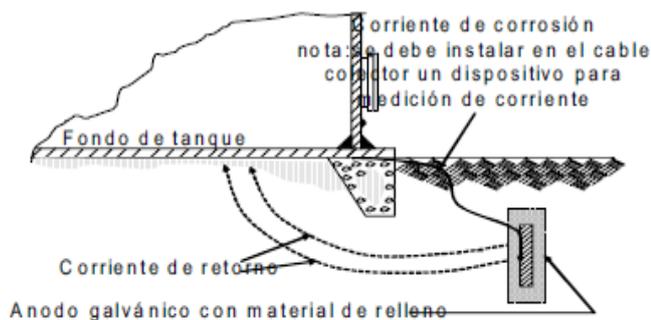


Figura 13-3. Protección Catódica con Ánodos de Sacrificio.

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

a) Sistemas de Corriente Impresa:

Este método se caracteriza porque la estructura a proteger forma parte de un circuito eléctrico con una fuente de corriente directa y un lecho de ánodos. Los sistemas de protección catódica por corriente impresa, generalmente son utilizados cuando se requieren grandes cantidades de corriente para llevar a cabo la protección de la estructura (PDVSA HA-201, 1983, p. 26).

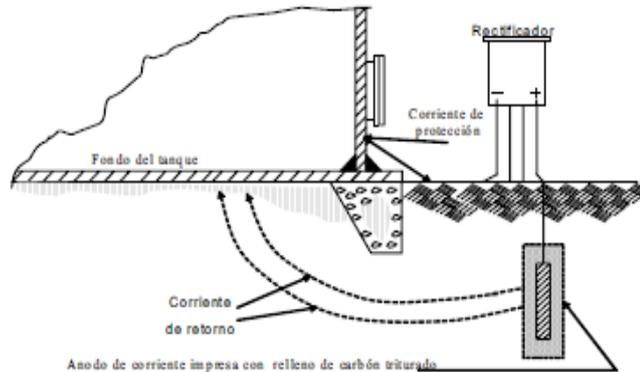


Figura 14-3. Protección Catódica con Corriente Impresa.

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Entre las principales fuentes de corriente externa empleadas en los sistemas de protección catódica tenemos:

- Rectificadores/transformadores AC/DC.
- Motores generadores.
- Generadores termoeléctricos.
- Generadores de viento y
- Generadores solares.

Generalmente, los rectificadores/transformadores son las fuentes de corriente externa empleados con mayor frecuencia.

Los sistemas de protección catódica por corriente impresa utilizan ánodos inertes como: hierro-silicio-cromo, hierro fundido, grafito, titanio, MMO y otros metales recubiertos. En la Tabla 4-3 se presentan las principales propiedades de los ánodos de corriente impresa (PDVSA HA-201, 1983, p. 26).

Tabla 4-3: Propiedades de los Ánodos de Corriente Impresa.

Ánodos de Corriente Impresa						
Propiedad	Fe-Si-Cr	Grafito	Niobio Platinizado	Lida	Chatarra de Acero	MMO
Consumo aproximado (kg/A-año)						
Agua de mar	1.0	N	8.63 E -6	0.0005	9.1	
Suelo	1.0	0.20	1 E -6	0.0071	9.1	1 E -6
Fondo del lago	1.3	N			9.1	
Densidad de corriente máxima recomendada (mA/cm²)						
Agua de mar	0.5	N	40	60	L	
Agua dulce	0.5	N	40	11	L	
Suelo	1.0	0.15	0.15	10	0.5	

Fuente: Manual de Ingeniería de Diseño de Sistemas de Protección Catódica.
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.3.4. *Protección Catódica Externa en Fondos de Tanques de Almacenamiento*

En la actualidad, las instalaciones anódicas están destinadas a buscar una configuración ideal que permita minimizar su longitud y a la vez sea accesible a espacios confinados. Las características de los nuevos Sistemas de Protección Catódica son las siguientes:

1. Optimizan la distribución de corriente.
2. Poseen menor resistencia en el lecho anódico.

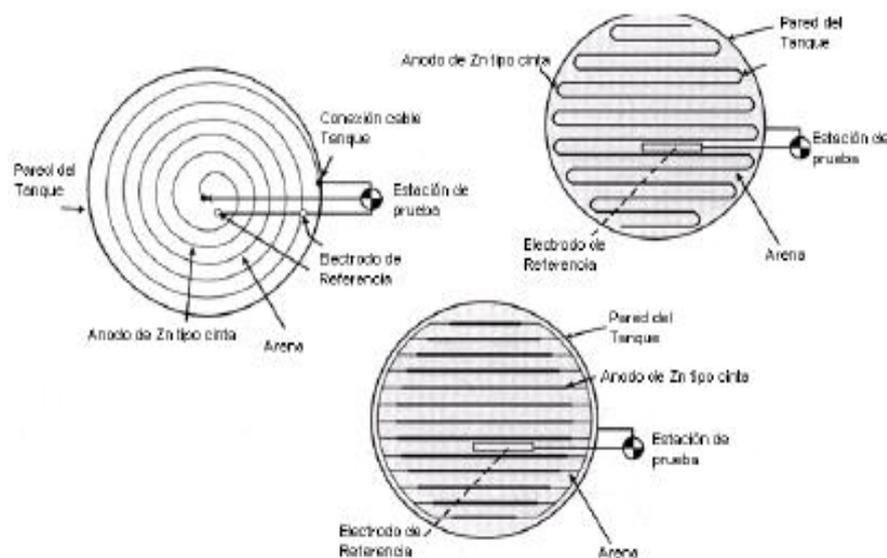


Figura 15-3. Nuevos Sistemas Catódicos para Protección del Fondo del Tanque.
 Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Un caso particular es la protección con Ánodos de Titanio – Óxidos Metálicos tipo Cinta, este tipo de ánodos se caracterizan por estar compuestos por un sustrato de titanio recubierto con una mezcla de óxidos metálicos. Además, están especialmente diseñados para la protección de fondos de tanques con contención secundaria y armaduras de refuerzo de hormigón (ARGO S.A. Cálculo Protección Catódica, 2016, p.32).

Entre las principales ventajas de este tipo de ánodos para la Protección Catódica de fondos de tanques tenemos:

- Propiedades electrocatalíticas excelentes.
- Larga vida y estabilidad dimensional.
- Permite el diseño de ánodos distribuidos para conseguir una protección uniforme.

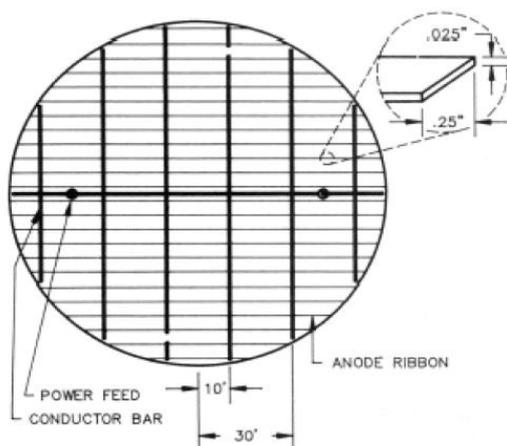


Figura 16-3. Esquema de la Protección con Ánodos Titanio – Óxidos Metálicos tipo Cinta.
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.4. Metodología

A continuación, se da una descripción detallada de cada una de las etapas utilizadas dentro de la metodología del presente proyecto tipo técnico:

3.2.4.1. Recopilación de la documentación

Se llevó a cabo la búsqueda de toda la información necesaria (Certificados de Inspección, Diagramas P&ID, Manual de Procedimientos, etc.) que facilite una mayor comprensión del funcionamiento del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa aplicado al fondo de los tanques de almacenamiento de combustibles del Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP-Petroecuador (TPLR).

Además, se realizaron varias entrevistas de carácter presencial tanto con el jefe del Terminal, así como ingenieros de proceso, supervisores y operadores de las áreas de Recepción, Almacenamiento, Control de Calidad y Despacho de productos; con el objetivo de poder llevar a cabo la presente investigación relacionada a la efectividad del mencionado Sistema de Protección Catódica.

Finalmente, se procedió a la revisión bibliográfica pertinente, la cual incluye procedimientos y técnicas cuya sustentación se basa en proyectos de similar naturaleza al del presente trabajo de investigación; mediante dicha información se espera alcanzar la validez de cada uno de los resultados que se obtendrán al culminar el presente estudio.

3.2.4.2. *Reconocimiento del campo de investigación*

En la presente etapa, se realizó un recorrido por la zona de almacenamiento de los combustibles (Gasolina Extra, Gasolina Súper y Diésel Premium), con el propósito de identificar cada uno de los equipos inmersos en el presente estudio (tanques de almacenamiento, rectificadores paneles de control, etc.). Adicionalmente, se llevó a cabo la verificación de la instrumentación a ser empleada (multímetro, medidor de espesores, interruptores de corriente) para las correspondientes mediciones de campo.

3.2.4.3. *Toma de datos*

Es necesario indicar, que los parámetros (Potenciales Electroquímicos, Espesores y muestras del suelo) a manejar en el presente estudio tipo técnico fueron tomados directamente en campo con la ayuda del personal técnico que lleva a cabo las inspecciones en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP-Petroecuador.

Las mediciones de Potencial Electroquímico se llevó a cabo en 7 tanques, por cada tanque se ocupó una semana debido a que se requiere un lapso de 48 horas para lograr la despolarización y poder medir el potencial natural de cada uno de los tanques, lo cual permite ejecutar la Técnica de la Interrupción de la corriente, potencial-off (IOP: “instant-off potential”).

En la siguiente tabla se detalla el horario para la toma de datos correspondientes al Potencial Electroquímico de cada uno de los tanques

Tabla 5-3: Plan de registro de Potenciales Electroquímicos tomados en campo.

Turno	Tanque	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
07H00 - 15H00		Medición - Potenciales				
		ON	Despolarización		Natural	OFF
	FTNK - 04 00 01 Gasolina Extra	07H00	48H00		07H00	08H00
	FTNK - 04 00 02 Gasolina Extra	07H00	48H00		07H00	08H00
	FTNK - 04 00 03 Gasolina Súper	07H00	48H00		07H00	08H00
	FTNK - 04 00 04 Gasolina Súper	07H00	48H00		07H00	08H00
	FTNK - 04 00 05 Diésel	07H00	48H00		07H00	08H00
	FTNK - 04 00 06 Diésel	07H00	48H00		07H00	08H00
	FTNK - 04 00 07 Slop	07H00	48H00		07H00	08H00

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Finamente, se llevó a cabo el registro de los datos de espesores de cada uno de los Tanques de Almacenamiento, dichas mediciones se las realizó en el fondo de los tanques con la finalidad de contribuir a la posterior obtención del grado de corrosión y tiempo de vida útil de los mencionados tanques. En la siguiente tabla se detalla el horario para la toma de datos correspondientes a los espesores.

Tabla 6-3: Plan de registro de espesores tomados en campo.

Turno	Tanque	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
07H00 - 15H00	Medición de Espesores							
	FTNK - 04 00 01 Gasolina Extra	07H00						
	FTNK - 04 00 02 Gasolina Extra		07H00					
	FTNK - 04 00 03 Gasolina Súper			07H00				
	FTNK - 04 00 04 Gasolina Súper				07H00			
	FTNK - 04 00 05 Diésel					07H00		
	FTNK - 04 00 06 Diésel						07H00	
	FTNK - 04 00 07 Slop							07H00

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Además, en la Tabla 7-3 se incluye la planificación de la toma de muestras del suelo para su posterior caracterización.

Tabla 7-3: Plan de registro de muestras del suelo tomadas en campo.

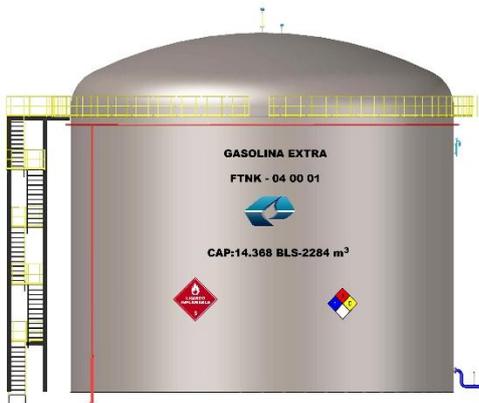
Turno	Zona	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
07H00 - 15H00	Tanques de Gasolina	08H00				
	Tanques de Diésel		09H00			
	Tanque Slop			10H00		

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.4.4. *Registro de datos*

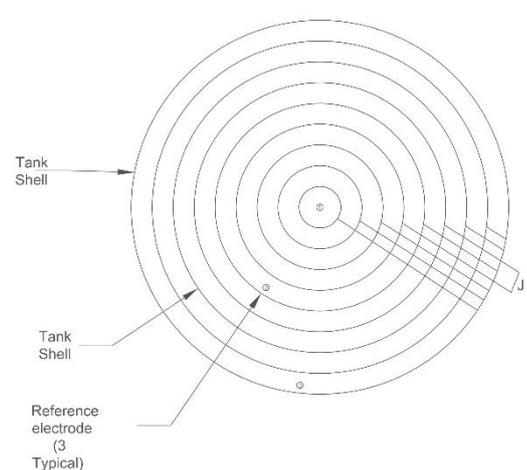
Para el registro de los valores tomados directamente en el TPLR, específicamente de la zona de Tanques de Almacenamiento, se construyó el siguiente formato en Excel; con la finalidad de almacenar los datos tanto de espesores y potenciales electroquímicos, mismos que ayudarán a llevar a cabo la Evaluación de la Efectividad del Sistema de Protección Catódica. (Ver Anexo D y E).

Tabla 8-3: Registro de Espesores de los Tanques de Almacenamiento de Combustibles.

HOJA DE REGISTRO DE ESPESORES			
Cliente:	Terminal de Productos Limpios Riobamba		
Proyecto:	"Evaluación de la Efectividad del Sistema de Protección Catódica aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP – Petroecuador"		
			
Equipos de Prueba		Marca # de Serie	
Nombre de la Zona			
Registro de Espesores			
Medio	Tanque #	Espesores Fondo del Tanque (mm)	Condiciones del Terreno
Notas:			
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre:			
Cargo:			
Firma:			
Fecha:			

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Tabla 9-3: Registro de Potenciales de los Tanques de Almacenamiento de Combustibles.

HOJA DE REGISTRO DE POTENCIALES				
Cliente:	Terminal de Productos Limpios Riobamba			
Proyecto:	"Evaluación de la Efectividad del Sistema de Protección Catódica aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP - Petroecuador"			
				
Equipos de Prueba			Marca - # de Serie	
Tanque #				
Registro de Potenciales				
Medio	Posiciones #	Potencial ON	Potencial Natural	Potencial OFF
Notas:				
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:	
Nombre:				
Cargo:				
Firma:				
Fecha:				

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.5. *Métodos y Técnicas*

3.2.5.1. *Método de Campo*

Este método consiste en la toma de datos reales del Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP-Petroecuador, específicamente de la zona de tanques de almacenamiento.

3.2.5.2. *Técnicas para verificar la Eficiencia de un Sistema de Protección Catódica del Acero*

Normalmente, las técnicas que se manejan para la verificación de la eficiencia de un sistema de protección catódica (PC) de una estructura de acero son las siguientes:

- 1) Inversión de la Polaridad
- 2) Curva de Polarización
- 3) Curva de Despolarización
- 4) Dirección de la Corriente
- 5) Interrupción de la Corriente
- 6) Instalación del Electrodo de Referencia próximo a la Estructura de Acero
- 7) Instalación del Electrodo de Referencia a distancia remota de la Estructura de Acero

De manera general, estas 7 técnicas son utilizadas para verificar los Criterios de Protección Catódica (PC) del Acero. (NACE Standard TM 0101, 2001).

✓ **Técnica de la Interrupción de la Corriente, Potencial – off (IOP: “Instant off Potential”)**

La eliminación de la caída óhmica (IR) asociada a la fuente de alimentación entre la estructura de acero y el electrolito, se logra mediante la aplicación de la técnica de la interrupción de la corriente. Normalmente, el tiempo de interrupción debe ser menor a los 3 segundos. Además, el valor del tiempo al que se produce el “potencial punta” es de 0,5 segundos, ver Figura 17-3. La precisión de la medida mediante la utilización de este procedimiento, se ve influenciada por los siguientes elementos:

- 1) Ánodos de Sacrificio conectados.
- 2) Protección Catódica en estructuras próximas.
- 3) Sistemas de Tranvías Eléctricos.
- 4) Sistemas Eléctricos HVDC (high voltaje direct current).

- 5) Corrientes Telúricas (long – line).
- 6) Pares Galvánicos.
- 7) Tuberías en Paralelo revestidas y conectadas a diferentes niveles de Polarización.
- 8) Fuentes de Corriente sin ininterrumpir.
- 9) Conexiones a otras estructuras y uniones para mitigar interferencias.

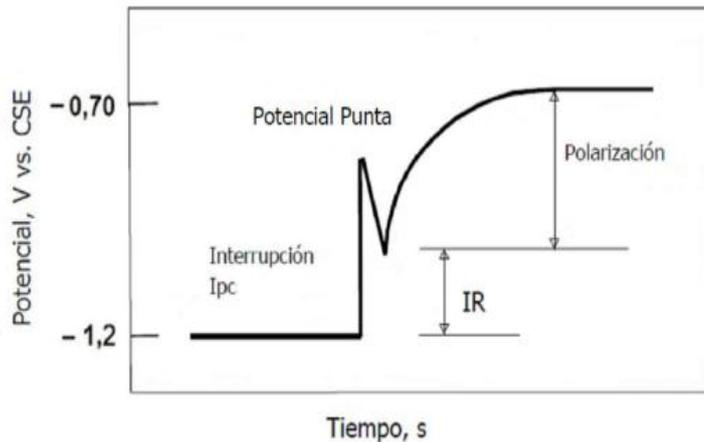


Figura 17-3. Método de Interrupción de la Corriente para eliminar la Caída Óhmica (IR).
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

El procedimiento indicado en la Norma NACE TM 0497-2002 establece una comparación entre diferentes técnicas y es fundamentalmente adecuado para aquellas estructuras sin revestimiento aislante o revestido de forma defectuosa. (NACE Standard TM 0497, 2002). La utilización de esta técnica es muy necesaria cuando los potenciales electroquímicos son bajos (menor de -0,500 V vs CSC) y si la corriente de protección (i_{CP}) cumple con el criterio del potencial polarizado (-0,850 V vs CSC) se considera excesiva. El procedimiento para la ejecución de la Norma NACE TM 0497-2002 consiste en instalar interruptores de corriente en todos los rectificadores/transformadores (R/T) que protegen la estructura en ese punto, así como los respectivos periodos de sincronización. (NACE Standard TM 0497, 2002). Además, se debe definir la localización del punto en el que realizan los ensayos.

El uso de esta técnica, conduce a que la protección catódica (PC) se interrumpa momentáneamente y de esta manera lograr el registro del potencial inmediatamente después de la interrupción, potencial-off, IOP (instant-off potential). Para la interrupción de la corriente se utiliza un interruptor cíclico insertado en el sistema de protección catódica (PC) y ajustándole de manera que, la mitad del tiempo del ciclo de potencial-on es, por lo menos, el doble de la media del tiempo del ciclo de potencial-off.

En la Figura 18-3 se presenta la respuesta del potencial de la estructura-suelo frente al tiempo de medida. Aquí, el interruptor es conectado en t_1 para interrumpir la corriente t_2-t_1 , y posteriormente convertirse en t_2 . El medio ciclo potencial-on desde t_2 hasta t_3 es, por lo menos, el doble del medio ciclo t_2-t_1 . El cambio en el potencial de potencial-on a potencial-off es la desaparición de la caída óhmica (IR) en la medida. Dicha caída óhmica reaparece en el instante en que la corriente se vuelve a conectar.

Por último, el valor del potencial-off, IOP (“instant-off potential”), es considerado igual al potencial de la estructura polarizada, debido a que se considera que el potencial a través de la interfase estructura/electrolito es almacenado momentáneamente en el condensador formado por la doble capa electroquímica (C_{dl}), la cual se forma instantáneamente como resultado de sumergir la estructura metálica en el electrolito.

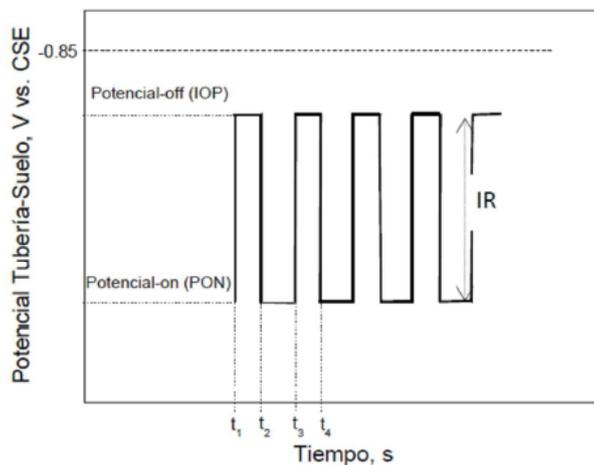


Figura 18-3. Variación del Potencial de la estructura-suelo frente al tiempo de medida.
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.6. Desarrollo del Proyecto

3.2.6.1. Determinación de Espesores mediante Inspección por Ultrasonido

En base a las Normas utilizadas para la Construcción, Mantenimiento e Inspección de los Tanques de Almacenamiento, es recomendable el uso del Ultrasonido para realizar el monitoreo y control de la corrosión que pudiera presentarse en los tanques.

La Inspección por Ultrasonido presenta una gran ventaja, ya que es posible ejecutarla cuando los tanques están en servicio mientras se realiza las correspondientes mediciones.

✓ **Determinación del espesor del fondo del tanque**

En el fondo del tanque es necesario inspeccionar fugas de producto almacenado, para posteriormente llevar a cabo el respectivo control de la corrosión, mediante un barrido ultrasónico de aproximadamente un 60% del área total del tanque.

Además, es necesario que los datos de espesores tomados con anterioridad sean tabulados con la finalidad de poder contrastarlos con los siguientes datos:

- Espesores obtenidos en otras inspecciones.
- Espesores nominales de construcción.
- Espesores mínimos requeridos por la Norma de Construcción correspondiente.

A continuación, con los datos previamente señalados, se ejecuta una evaluación mediante el cálculo de la velocidad de corrosión y la estimación de la vida útil de los equipos (Tanques de Almacenamiento de Combustibles).

a) Cálculo de la Velocidad de Corrosión

La velocidad de corrosión es un parámetro que permite conocer el avance de la corrosión en un determinado lapso de tiempo, este relaciona el espesor medido en la actual inspección con los espesores determinados en las mediciones anteriores o desde la construcción del tanque en inspección, dicha diferencia se la divide por el tiempo de operación en construcción. A continuación, se presenta la ecuación empleada para medir la velocidad de corrosión:

$$V_c = \frac{E_o - E_m}{T} \quad \text{Ecuación. 1}$$

Dónde:

V_c = velocidad de corrosión en mm/año.

E_o = espesor de la plancha original o el espesor medido en la inspección anterior.

E_m = espesor de plancha medido en mm en la inspección actual.

T = tiempo de servicio en el lapso considerado, medido en años.

Para evaluar las velocidades de corrosión calculadas es necesario considerar los siguientes criterios:

- Para velocidades de corrosión mayores a 0.025 mm/año (> 0.001 pulg/año) y que además tienen una vida remanente menor a 4 años, es aconsejable que la próxima inspección con medición de espesores se la ejecute en un periodo no mayor a 2 años.
- Para velocidades de corrosión con valores menores a 0.025, no es necesario una inspección de tipo interna.

b) Cálculo de la Vida Útil Estimada

La vida útil estimada de un tanque se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_u = \frac{E_m - E_{min}}{V_c} \quad \text{Ecuación. 2}$$

Dónde:

V_u = vida útil estimada.

E_m = espesor de plancha medido en mm en la inspección actual.

E_{min} = espesor mínimo, en mm, requerido según la norma de construcción utilizada.

El valor medido, indica la probable vida útil del tanque en general o de una zona en particular del recipiente inspeccionado.

3.2.6.2. Caracterización del Suelo

La caracterización del suelo se llevó a cabo mediante un análisis de agresividad corrosiva que presenta el medio en el cual se encuentran los Tanques de Almacenamiento de Combustibles, para lo cual se realizaron análisis de tipo físico como: granulometría, límites de plasticidad, y también de tipo químico como: resistividad, contenido de humedad (Baboian, 2006).

- **Muestreo**

Antes de la toma de muestras del suelo de la zona de Tanques de Almacenamiento, se tomaron las debidas precauciones, es decir, se verificó que las herramientas y las fundas estén completamente limpias y que no presenten residuos de otros materiales.



Figura 19-3. Codificación de las muestras de Suelo.
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Las muestras fueron recolectadas a una profundidad de 1m, una por cada zona, es decir, una por la zona de Tanques de Gasolina, otra por la zona de Tanques de Diésel y finalmente una muestra por la zona donde se encuentra localizado el Tanque Slop.



Figura 20-3. Recolección de muestras en el Campo.
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

✓ **Resistividad del Suelo**

Para medir la resistividad del suelo en el campo, se empleó el método “Four-Pin Method Wenner” establecido en la Norma NACE RP 0502-2002.

Se utilizó cuatro varillas de metal como electrodos, las mismas fueron colocadas con una separación igual en una línea recta sobre la superficie del suelo a una profundidad considerable, tomando en cuenta la separación mínima de los electrodos. La separación entre los electrodos fue de 1 metro entre cada uno de ellos.

El voltaje fue enviado entre los electrodos externos, generando un flujo de corriente, en tanto que la caída de voltaje entre los electrodos internos se midió empleando un voltímetro sensible o resistivímetro.

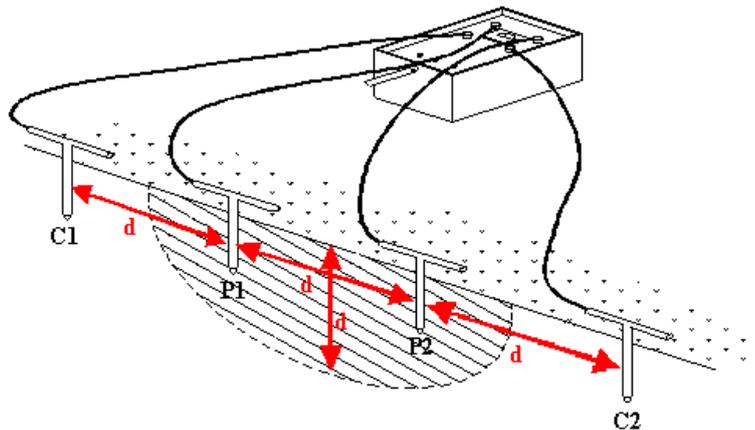


Figura 21-3. Medición de la Resistividad por el Método de Wenner.

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Con los datos registrados se procedió a calcular el valor de la resistividad (ρ) del suelo mediante la siguiente ecuación:

$$\rho(\Omega * \text{cm}) = 2 * \pi * a * R \quad \text{Ecuación. 3}$$

Dónde:

P = Resistividad ($\Omega * \text{cm}$) .

a = Separación entre los electrodos (cm).

R = Resistencia (Ω) .

✓ **Contenido de Humedad**

El ensayo para determinar el porcentaje de humedad se llevó a cabo en el Laboratorio de Control de Calidad de Materiales de la Universidad Nacional de Chimborazo. Para su ejecución el personal del Laboratorio se basó en las siguientes Normativas:

- NORMA INEN 690
- NORMA ASTM D 2216
- NORMA AASHTO T265

✓ **Granulometría por Tamizado (Agregado Fino)**

De la misma manera, el ensayo granulométrico por tamizado se realizó de forma particular en el Laboratorio de Control de Calidad de Materiales de la Universidad Nacional de Chimborazo. Para su ejecución el personal del Laboratorio se basó en las siguientes Normativas:

- NORMA INEN 696
- NORMA INEN 697
- NORMA ASTM D 422
- NORMA AASHTO T88

✓ **Límite Líquido y Límite Plástico**

Finalmente, el ensayo para determinar el límite líquido y límite plástico, también se lo realizó en el Laboratorio de Control de Calidad de Materiales de la Universidad Nacional de Chimborazo. Para su ejecución el personal del Laboratorio se basó en las siguientes Normativas:

- NORMA INEN 691
- NORMA INEN 692
- NORMA ASTM D 4318
- NORMA AASHTO T89
- NORMA AASHTO T90

3.2.6.3. *Medida del Potencial Electroquímico*

A continuación se describe detalladamente el procedimiento para la medición del potencial electroquímico en el fondo de los tanques de almacenamiento de combustibles:

✓ **Procedimiento de formación de la Polarización**

- Antes de la ejecución de la prueba, es necesario verificar que el equipo de Protección Catódica se encuentre instalado pero no energizado.
- Además, se debe determinar la ubicación del sitio que se probará.
- Se debe realizar un contacto entre el electrodo de referencia y el electrolito en el sitio de prueba.
- La ubicación del electrodo de referencia debe ser identificada en el momento que se mide el potencial instantáneo, con la finalidad de que los potenciales despolarizados puedan medirse en la misma ubicación.
- Es necesario conectar el voltímetro a la estructura y al electrodo de referencia.
- A continuación, se mide y se registra el potencial de corrosión entre la estructura y el electrolito así como también su polaridad con respecto al electrodo de referencia.
- A partir de este valor de potencial, se calcula la formación de la Polarización.
- Posterior a la medición del potencial, se aplica la corriente de Protección Catódica. Es necesario, esperar un lapso de tiempo para que los potenciales de la estructura alcancen valores polarizados.
- También, se debe instalar y hacer funcionar el equipo de interruptores, mismos que deben ser colocados en todas las fuentes de CC. Un aspecto importante es que dichos interruptores protejan la estructura en el sitio de prueba y a la vez pongan en funcionamiento un ciclo sincronizado o conocido como de encendido y apagado. El ciclo de desactivación debe mantenerse por un corto tiempo, pero es necesario que sea lo suficientemente largo como para poder realizar una lectura del potencial polarizado de la estructura a electrolito una vez de que se haya colapsado cualquier pico.
- Un siguiente paso, es la medición y el registro de los potenciales de “encendido y apagado” de la estructura al electrolito y sus polaridades con respecto al electrodo de referencia. La cantidad de formación de polarización, resulta de la diferencia entre el potencial “apagado” y el potencial de corrosión.
- Finalmente, si se llegara a dar la presencia del fenómeno denominado spiking, se debe dar uso de un instrumento apropiado, como un osciloscopio o un dispositivo de

alta velocidad, dispositivo de grabación, para poder verificar que los valores medidos no sean influenciados por un pico de voltaje.

3.2.6.4. Verificación del Cumplimiento de los Criterios de Protección Catódica del Acero en el Fondo de los Tanques de Almacenamiento de Combustibles.

Es sumamente importante verificar que en el fondo de cada uno de los tanques se cumpla alguno de los Criterios de Protección Catódica señalados en el inciso 3.2.3.2.

La medición del potencial entre el suelo y el tanque, se lo realiza mediante el empleo de un voltímetro digital de alta impedancia y de un electrodo de referencia, el cual está en contacto con el electrolito.

El electrodo de referencia empleado para medir los valores de potencial puede ser permanente o temporal y necesariamente debe ser instalado por debajo del tanque a través de un tubo perforado.

Un aspecto importante a considerar, es que el área del fondo del tanque en contacto con el suelo, puede variar el potencial, por lo que es necesario realizar una comparación de mediciones hechas en diferentes inspecciones, considerando que dichas mediciones se hayan realizado en condiciones similares del nivel del tanque.

3.2.7. Datos

3.2.7.1. Datos Experimentales

A continuación, se presenta la tabulación de los datos tomados en las pruebas de campo.

Tabla 10-3: Medición de Espesores en el Fondo de los Tanques.

ANÁLISIS DE ESPEORES			
TANQUE	Espesor de la plancha original Eo (mm)	Espesor de la plancha medido Em (mm)	Espesor mínimo Emín (mm)
TANQUE FTNK - 04 00 01 Gasolina Extra	6.73	5.74	3.68
TANQUE FTNK - 04 00 02 Gasolina Extra	6.73	5.43	3.25
TANQUE FTNK - 04 00 03 Gasolina Súper	6.73	4.92	2.44
TANQUE FTNK - 04 00 04 Gasolina Súper	6.73	4.95	1.63
TANQUE ATNK - 04 00 05 Diésel	6.73	5.51	3.28
TANQUE ATNK - 04 00 06 Diésel	6.73	5.10	2.46
TANQUE ATNK - 04 00 07 Slop	6.70	4.80	1.85

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Tabla 11-3: Medición del Potencial ON Tanques de Almacenamiento de Combustibles.

Potencial ON					
TANQUES	Potencial E (mV)			Promedio	Condición del Terreno
	Posiciones #				
	1	2	3		
TANQUE FTNK - 04 00 01 GASOLINA EXTRA	1847	1895	1757	1833	Árido Fino
TANQUE FTNK - 04 00 02 GASOLINA EXTRA	1900	1900	2040	1947	
TANQUE FTNK - 04 00 03 GASOLINA SUPER	1856	1875	1863	1865	
TANQUE FTNK - 04 00 04 GASOLINA SUPER	1790	1621	1800	1737	
TANQUE ATNK - 04 00 05 DIESEL	1300	1347	1250	1299	
TANQUE ATNK - 04 00 06 DIESEL	1085	1282	1118	1162	
TANQUE ATNK - 04 00 07 SLOP	1988	1765		1877	

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Tabla 12-3: Medición del Potencial Natural Tanques de Almacenamiento de Combustibles.

Potencial Natural					
TANQUES	Potencial E (mV)			Prome- dio	Condición del Terreno
	Posiciones #				
	1	2	3		
TANQUE FTNK - 04 00 01 GASOLINA EXTRA	574	577	547	566	Árido Fino
TANQUE FTNK - 04 00 02 GASOLINA EXTRA	567	562	568	566	
TANQUE FTNK - 04 00 03 GASOLINA SUPER	597	572	591	587	
TANQUE FTNK - 04 00 04 GASOLINA SUPER	562	553	550	555	
TANQUE ATNK - 04 00 05 DIESEL	430	404	416	417	
TANQUE ATNK - 04 00 06 DIESEL	429	454	416	433	
TANQUE ATNK - 04 00 07 SLOP	607	590		599	

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Tabla 13-3: Medición del Potencial OFF Tanques de Almacenamiento de Combustibles.

Potencial OFF					
TANQUES	Potencial E (mV)			Promedio	Condición del Terreno
	Posiciones #				
	1	2	3		
TANQUE FTNK - 04 00 01 GASOLINA EXTRA	665	670	645	660	Árido Fino
TANQUE FTNK - 04 00 02 GASOLINA EXTRA	659	649	689	666	
TANQUE FTNK - 04 00 03 GASOLINA SUPER	704	710	714	709	
TANQUE FTNK - 04 00 04 GASOLINA SUPER	661	666	668	665	
TANQUE ATNK - 04 00 05 DIESEL	524	413	474	470	
TANQUE ATNK - 04 00 06 DIESEL	490	512	458	486	
TANQUE ATNK - 04 00 07 SLOP	725	647		686	

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.7.2. Datos Adicionales

Tabla 14-3: Grado de Corrosividad en función de la Resistividad del Suelo.

Resistividad del Suelo ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Grado de Corrosividad
0 – 500	Muy Corrosivo
500 – 1 000	Corrosivo
1 000 – 2 000	Moderadamente Corrosivo
2 000 – 10 000	Ligeramente Corrosivo
Sobre los 10 000	Progresivamente menos Corrosivo

Fuente: Peabody, 2011.

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Tabla 15-3: Tasas de Corrosión según la Resistividad.

Resistividad del Suelo ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Tasa de Corrosión Máxima (mm/año)	
	General	Localizada
Menor a 1 000	0,063	0,31
1 000 a 5 000	0,059	0,45
5 000 a 12 000	0,035	0,26
> 12 000	0,033	0,23

Fuente: Peabody, 2011.

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.8. Cálculos y Resultados

3.2.8.1. Cálculos Específicos

3.2.8.1.1. Cálculo - Fondo del Tanque FTNK – 04 00 01 Gasolina Extra

- Velocidad de Corrosión

$$V_c = \frac{E_o - E_m}{T}$$

$$V_c = \frac{6.73 - 5.74}{10}$$

$$V_c = 0.099 \frac{\text{mm}}{\text{año}}$$

- Vida Útil Estimada

$$V_u = \frac{E_m - E_{\min}}{V_c}$$

$$V_u = \frac{5.74 - 3.68}{0.099}$$

$$V_u = 20.8 \text{ años}$$

3.2.8.1.2. *Cálculo del Cambio de Polarización (PSA) – Tanque FTNK – 04 00 01 Gasolina Extra*

$$PSA = (IOP - E_{corr})$$

$$PSA = (660 - 566) \text{ mV}$$

$$PSA = 94 \text{ mV}$$

3.2.8.1.3. *Cálculo del Índice de Plasticidad*

$$\text{ÍNDICE DE PLASTICIDAD} = \% \text{ Límite Plástico} - \% \text{ Límite Líquido}$$

$$IP = (34.72 - 22.20)\%$$

$$IP = 12.52 \% \quad \rightarrow \quad \text{MATERIAL NO PLÁSTICO (NP)}$$

3.2.8.2. *Resultados*

3.2.8.2.1. *Inspección Ultrasonica mediante Medición de Espesores*

Tabla 16-3: Resumen de cálculos realizados en los tanques.

ANÁLISIS DE ESPESORES		
TANQUE	Velocidad de Corrosión Vc (mm/año)	Vida Útil Estimada Vu (años)
TANQUE FTNK - 04 00 01 Gasolina Extra	0.099	20.8
TANQUE FTNK - 04 00 02 Gasolina Extra	0.13	16.8
TANQUE FTNK - 04 00 03 Gasolina Súper	0.181	13.7
TANQUE FTNK - 04 00 04 Gasolina Súper	0.178	18.6
TANQUE ATNK - 04 00 05 Diésel	0.122	18.3
TANQUE ATNK - 04 00 06 Diésel	0.163	16.2
TANQUE ATNK - 04 00 01 Slop	0.19	15.5

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.8.2.2. Caracterización del Suelo

✓ Resultados de los Análisis Físicos

Tabla 17-3: Granulometría – Composición del Suelo.

D10 = 0.135	D30 = 0.311	D60 = 1.017	C_U = 7.5
% Grava = 5	% Arena = 95	% Finos = 0	C_C = 0.71

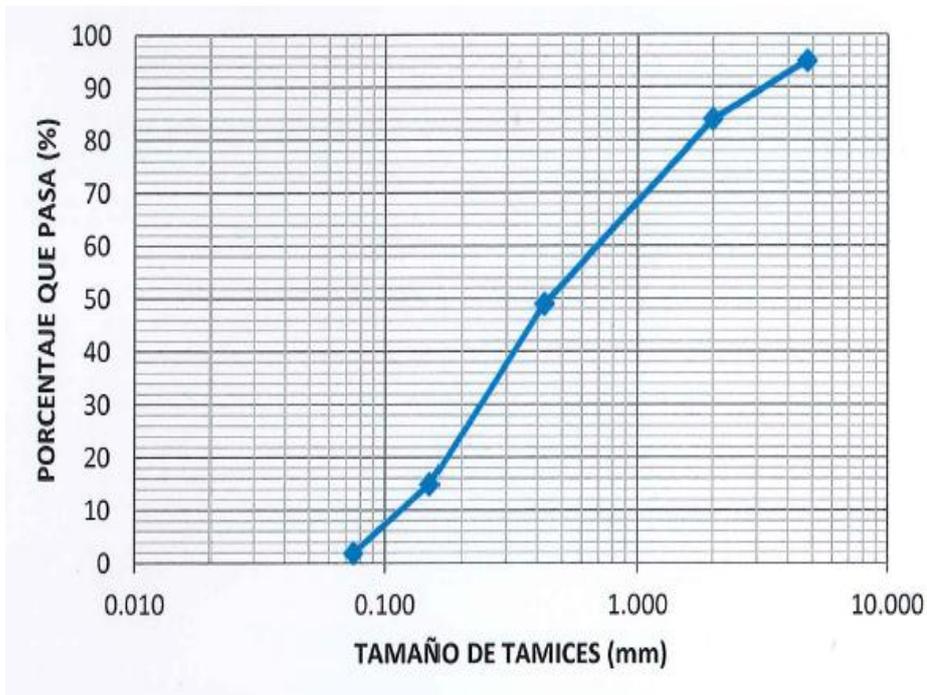
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Tabla 18-3: Granulometría – Tamizado.

Tamiz		Masa Retenida Parcial (g)	Porcentajes		
#	Tamaño (mm)		Ret Parcial %	Ret Acumulda %	Pasa %
4	4.75	27	5	5	95
10	2	66	11	16	84
40	0.425	201	35	51	49
100	0.15	196	34	85	15
200	0.075	76	13	98	2
BANDEJA	0	10	2	100	0
MASA TOTAL		576			

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Gráfico 1-3. Curva Granulométrica.



Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Tabla 19-3: Límite Líquido.

LÍMITE LÍQUIDO						
N° de golpes	Cápsula	Peso cápsula (g)	Peso cápsula + suelo húmedo (g)	Peso cápsula + suelo seco (g)	% Humedad	Promedio % Humedad
38	M2	16.00	33.10	30.20	20.42	28.27
	B4	18.30	33.00	29.10	36.11	
26	G3	18.40	28.10	25.80	31.08	30.85
	5h	18.40	31.20	28.20	30.61	
16	D3	18.40	36.40	31.80	34.33	33.96
	C8	18.30	35.00	30.80	33.60	
5	A4	17.20	31.70	27.60	39.42	38.26
	D2	18.10	26.60	24.30	37.10	

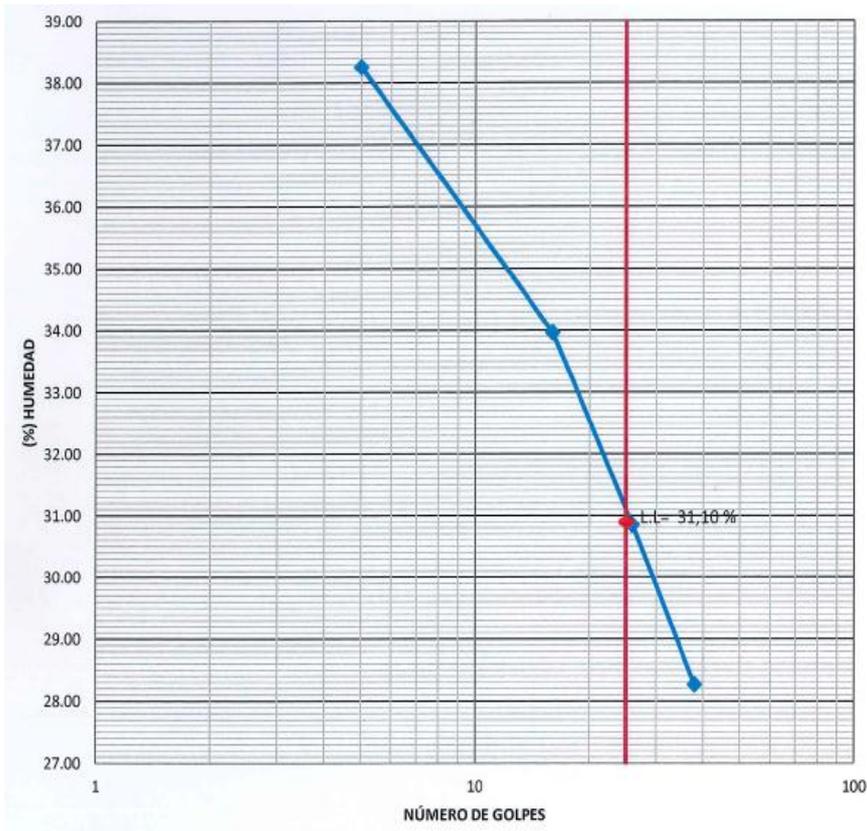
Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Tabla 20-3: Límite Plástico.

LÍMITE PLÁSTICO					
Cápsula	Peso cápsula (g)	Peso cápsula + suelo húmedo (g)	Peso cápsula + suelo seco (g)	% Humedad	Promedio % Humedad
M2	18.00	19.00	18.80	25.00	34.72
B3	17.50	18.80	18.40	44.44	

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Gráfico 2-3. Porcentaje (%) de Humedad vs Número de Golpes.



Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

✓ *Resultados de los Análisis Químicos*

Tabla 21-3: Resistividad del Suelo del Terminal de Productos Limpios Riobamba

Zona	Hora	Intensidad (A)	Voltaje (V)	$\rho = 2\pi a \frac{V}{I}$ (Ω -cm)
1 Tanques de Gasolina (Extra, Súper)	13H15	0.05	0.57	10 916.15
2 Tanques de Diésel	14H02	0.07	0.93	12 721.83
3 Tanque Slop	15H46	0.02	0.30	14 363.36

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Tabla 22-3: Cantidad de Humedad en las muestras tomadas.

CONTENIDO DE AGUA				
N°	MASA (g)	REC + SH (g)	REC + SS (g)	CONT. AGUA (g)
P6	17.70	67.80	54.60	24.18
M3	18.00	64.30	52.70	22.01
PROMEDIO W =		23.09%		

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.8.2.3. *Protección Catódica de la Base de Tanques de Acero para Almacenamiento de Combustibles.*

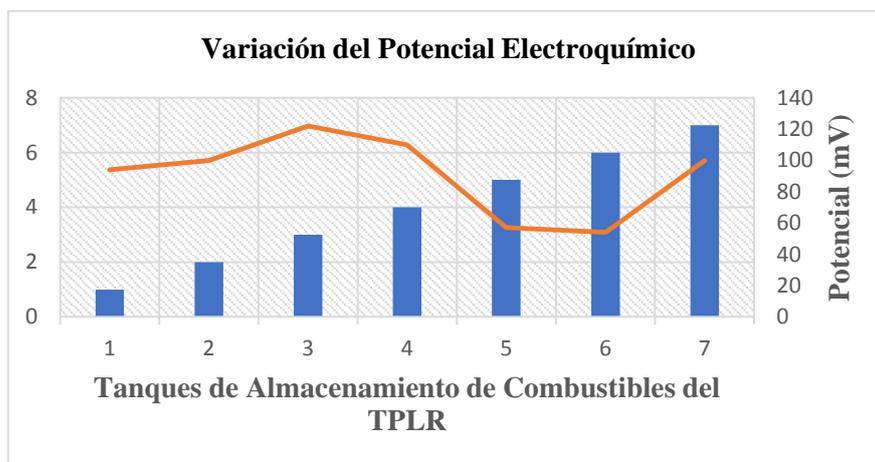
✓ *Resultados Experimentales de Medida de Campo*

Tabla 23-3: Cambio de Polarización (PSA).

CAMBIO DE POLARIZACIÓN	
TANQUE	PSA (mV)
TANQUE FTNK - 04 00 01 Gasolina Extra	94
TANQUE FTNK - 04 00 02 Gasolina Extra	100
TANQUE FTNK - 04 00 03 Gasolina Súper	122
TANQUE FTNK - 04 00 04 Gasolina Súper	110
TANQUE ATNK - 04 00 05 Diésel	57
TANQUE ATNK - 04 00 06 Diésel	54
TANQUE ATNK - 04 00 07 Slop	100

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Gráfico 3-3. Variación del Potencial Electroquímico respecto al Criterio de Protección Catódica del Acero +/- 100 mV (Cambio de Polarización).



Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Dónde:

- 1: TANQUE FTNK - 04 00 01 Gasolina Extra
- 2: TANQUE FTNK - 04 00 02 Gasolina Extra
- 3: TANQUE FTNK - 04 00 03 Gasolina Súper
- 4: TANQUE FTNK - 04 00 04 Gasolina Súper
- 5: TANQUE ATNK - 04 00 05 Diésel
- 6: TANQUE ATNK - 04 00 06 Diésel
- 7: TANQUE ATNK - 04 00 07 Slop

3.2.8.2.4. *Medición de la Fuerza Electromotriz (FEM) de los Ánodos de Sacrificio*

Tabla 24-3: Mediciones de la Fuerza Electromotriz (FEM).

FUERZA ELECTROMOTRIZ (FEM)	
TANQUE	FEM (mV)
TANQUE FTNK - 04 00 01 Gasolina Extra	1871
TANQUE FTNK - 04 00 02 Gasolina Extra	1970
TANQUE FTNK - 04 00 03 Gasolina Súper	1860
TANQUE FTNK - 04 00 04 Gasolina Súper	1805
TANQUE ATNK - 04 00 05 Diésel	1200
TANQUE ATNK - 04 00 06 Diésel	1324
TANQUE ATNK - 04 00 07 Slop	1765

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.8.2.5. *Verificación del Cumplimiento de los Criterios de Protección Catódica del Acero en la base de cada uno de los Tanques de Almacenamiento de Combustibles.*

Tabla 25-3: Cumplimiento de los Criterios de Protección Catódica del Acero.

CRITERIO DE POLARIZACIÓN (+/- 100 mV)			
TANQUE	PSA (mV)	CUMPLE	NO CUMPLE
TANQUE FTNK - 04 00 01 Gasolina Extra	94		
TANQUE FTNK - 04 00 02 Gasolina Extra	100		
TANQUE FTNK - 04 00 03 Gasolina Súper	122		
TANQUE FTNK - 04 00 04 Gasolina Súper	110		
TANQUE ATNK - 04 00 05 Diésel	57		
TANQUE ATNK - 04 00 06 Diésel	54		
TANQUE ATNK - 04 00 07 Slop	100		

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.2.9. Análisis y Discusión de Resultados

3.2.9.1. Análisis de los resultados de la Medición de Espesores en el Fondo de los Tanques

La medición de espesores en el Fondo de los Tanques se realizó con la finalidad de conocer el estado actual de los mismos mediante una evaluación, calculando la velocidad de corrosión y a la vez la estimación de la vida útil de los equipos. Con los datos de espesores anteriormente tomados (Ver Tabla 10-3), se puede observar que los Tanques de Almacenamiento presentan una velocidad de corrosión promedio de aproximadamente 0.152 mm/año, dicho valor es superior al establecido en el criterio de la Norma API 653 correspondiente a 0.025 mm/año, por tal motivo es aconsejable que la próxima inspección de espesores se la ejecute en un periodo no mayor a 2 años; consecuentemente, el valor promedio medido de la vida útil estimada de los tanques es de 17.13 años, mismo que se aproxima al valor estimado por el proyecto de 20 años; garantizando de esta manera el abastecimiento de la demanda de productos limpios o derivados del petróleo hasta el año 2030.

3.2.9.2. Análisis de los resultados de la Caracterización del Suelo

La caracterización del Suelo se llevó a cabo mediante una serie de análisis físico-químicos. Cabe recalcar que todas las muestras fueron recolectadas a 1 metro de profundidad. En base a los análisis físicos, el suelo de la Zona de Tanques de Almacenamiento de Combustibles se clasificó como del tipo Árido Fino con un contenido de grava del 10% y un 95% de arena. Además, mediante el cálculo del índice de Plasticidad cuyo valor fue de 12.52% se puede afirmar que el suelo caracterizado se trata de un material no plástico (NP).

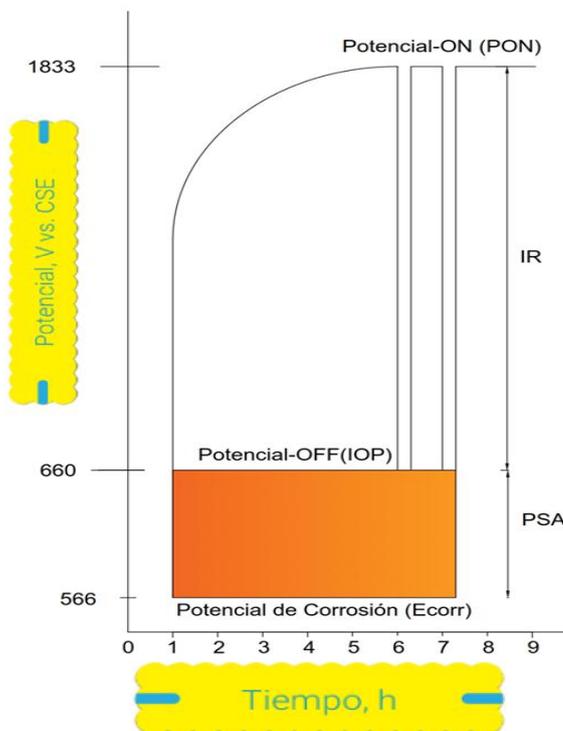
En lo referente a los análisis químicos, se llevó a cabo la medición de la resistividad del suelo, cuyo valor promedio fue de 12 500 Ω /cm, por lo tanto, se puede decir que este suelo no es muy corrosivo. Sin embargo, se encuentra dentro de los límites del grado de corrosividad en función de la resistividad del suelo, entonces se justifica que si es posible aplicar la Protección Catódica. Adicionalmente, la muestra del suelo presento una humedad promedio del 23.09%.

3.2.9.3. Análisis de los resultados de la Medición de Potenciales Electroquímicos

A continuación, se analizan las mediciones de Potencial Electroquímico de cada uno de los Tanques de Almacenamiento de Combustibles mediante el Método de Interrupción de la Corriente (IOP: Instant-OFF Potential):

El Gráfico 4-3 muestra la variación del potencial de la estructura de acero con respecto del suelo en un período de 8 horas, con ciclos de desconexión de la corriente de protección catódica (i_{CP}) de 4 segundos potencial-ON (conectado) y de 1 segundo potencial-OFF (desconectado), para la base del Tanque FTNK – 04 00 01 para almacenamiento de Gasolina Extra. Se empleó el Método del Potencial-OFF, midiendo el potencial de media celda de la estructura de acero inmediatamente después de que la corriente de protección (i_{CP}) se interrumpiese, para determinar el potencial polarizado en determinados puntos seleccionados. El valor promedio del potencial-ON (PON) fue de 1833 mV. El Gráfico 4-3 muestra, también, el valor promedio del potencial-OFF (IOP), siendo este de 660 mV. El cambio de polarización (PSA) producido fue 94 mV, el cual no cumple con el criterio del cambio en la polarización.

Gráfico 4-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque FTNK – 04 00 01 Gasolina Extra.

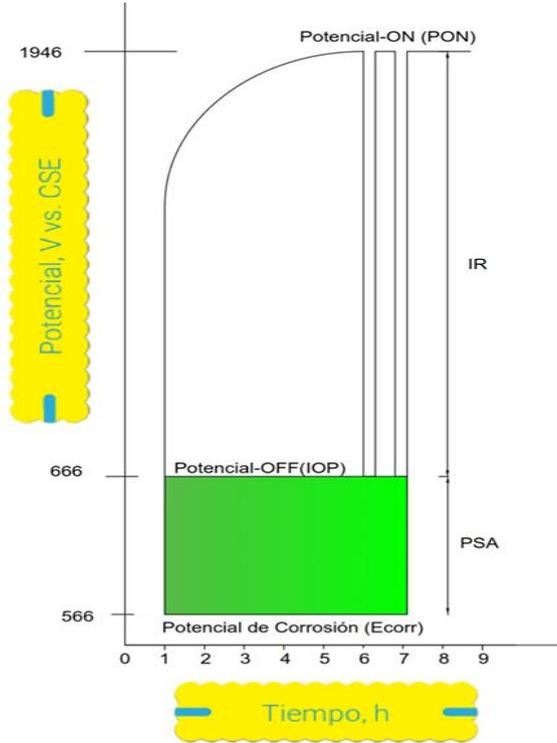


Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

El Grafico 5-3 muestra la variación del potencial de la estructura de acero con respecto del suelo en un período de 8 horas, con ciclos de desconexión de la corriente de protección catódica (i_{CP}) de 1 segundo potencial-ON (conectado) y de 4 segundos potencial-OFF (desconectado), para la base del Tanque FTNK – 04 00 02 para almacenamiento de Gasolina Extra. Se empleó el Método del Potencial-OFF, midiendo el potencial de media celda de la estructura de acero inmediatamente después de que la corriente de protección (i_{CP}) se interrumpiese, para determinar el potencial polarizado en determinados puntos seleccionados. El valor promedio del potencial-ON (PON) fue

de 1947 mV. El Gráfico 5-3 muestra, también, el valor promedio del potencial-OFF (IOP), siendo este de 666 mV. El cambio de polarización (PSA) producido fue 100 mV, el cual cumple con el criterio del cambio en la polarización.

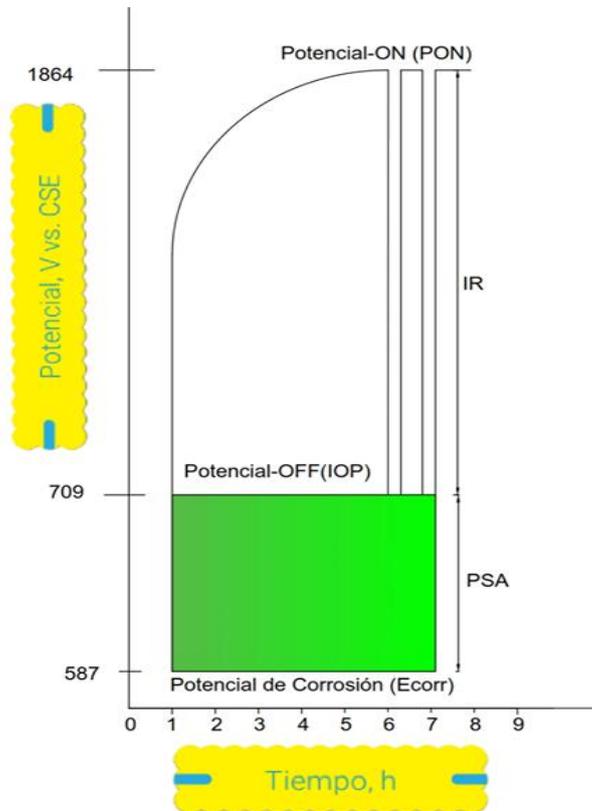
Gráfico 5-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque FTNK – 04 00 02 Gasolina Extra.



Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

El Gráfico 6-3 muestra la variación del potencial de la estructura de acero con respecto del suelo en un período de 8 horas, con ciclos de desconexión de la corriente de protección catódica (i_{CP}) de 1 segundo potencial-ON (conectado) y de 4 segundos potencial-OFF (desconectado), para la base del Tanque FTNK – 04 00 03 para almacenamiento de Gasolina Súper. Se empleó el Método del Potencial-OFF, midiendo el potencial de media celda de la estructura de acero inmediatamente después de que la corriente de protección (i_{CP}) se interrumpiese, para determinar el potencial polarizado en determinados puntos seleccionados. El valor promedio del potencial-ON (PON) fue de 1865 mV. El Gráfico 6-3 muestra, también, el valor promedio del potencial-OFF (IOP), siendo este de 709 mV. El cambio de polarización (PSA) producido fue 122 mV, el cual cumple con el criterio del cambio en la polarización.

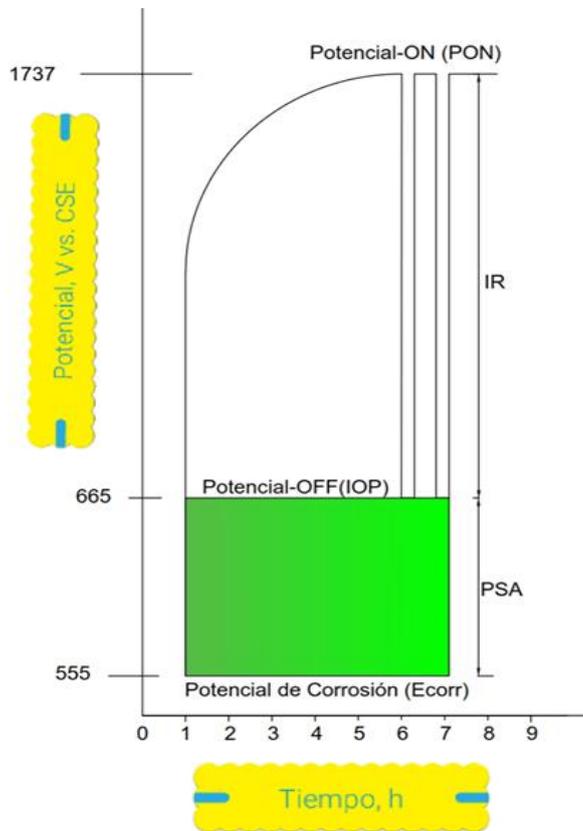
Gráfico 6-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque FTNK – 04 00 03 Gasolina Súper.



Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

El Gráfico 7-3 muestra la variación del potencial de la estructura de acero con respecto del suelo en un período de 8 horas, con ciclos de desconexión de la corriente de protección catódica (i_{CP}) de 1 segundo potencial-ON (conectado) y de 4 segundos potencial-OFF (desconectado), para la base del Tanque FTNK – 04 00 04 para almacenamiento de Gasolina Súper. Se empleó el Método del Potencial-OFF, midiendo el potencial de media celda de la estructura de acero inmediatamente después de que la corriente de protección (i_{CP}) se interrumpiese, para determinar el potencial polarizado en determinados puntos seleccionados. El valor promedio del potencial-ON (PON) fue de 1737 mV. El Gráfico 7-3 muestra, también, el valor promedio del potencial-OFF (IOP), siendo este de 665 mV. El cambio de polarización (PSA) producido fue 110 mV, el cual cumple con el criterio del cambio en la polarización.

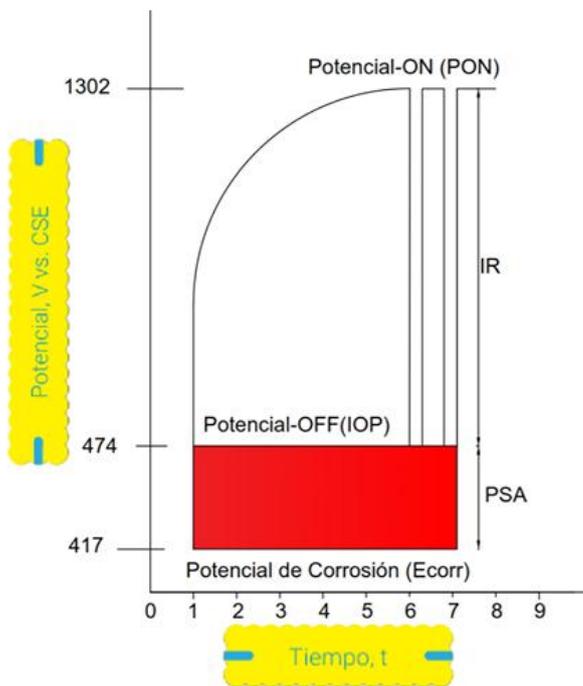
Gráfico 7-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque FTNK – 04 00 04 Gasolina Súper.



Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

El Gráfico 8-3 muestra la variación del potencial de la estructura de acero con respecto del suelo en un período de 8 horas, con ciclos de desconexión de la corriente de protección catódica (i_{CP}) de 1 segundo potencial-ON (conectado) y de 4 segundos potencial-OFF (desconectado), para la base del Tanque FTNK – 04 00 05 para almacenamiento de Diésel. Se empleó el Método del Potencial-OFF, midiendo el potencial de media celda de la estructura de acero inmediatamente después de que la corriente de protección (i_{CP}) se interrumpiese, para determinar el potencial polarizado en determinados puntos seleccionados. El valor promedio del potencial-ON (PON) fue de 1299 mV. El Gráfico 8-3 muestra, también, el valor promedio del potencial-OFF (IOP), siendo este de 474 mV. El cambio de polarización (PSA) producido fue 57 mV, el cual no cumple con el criterio del cambio en la polarización.

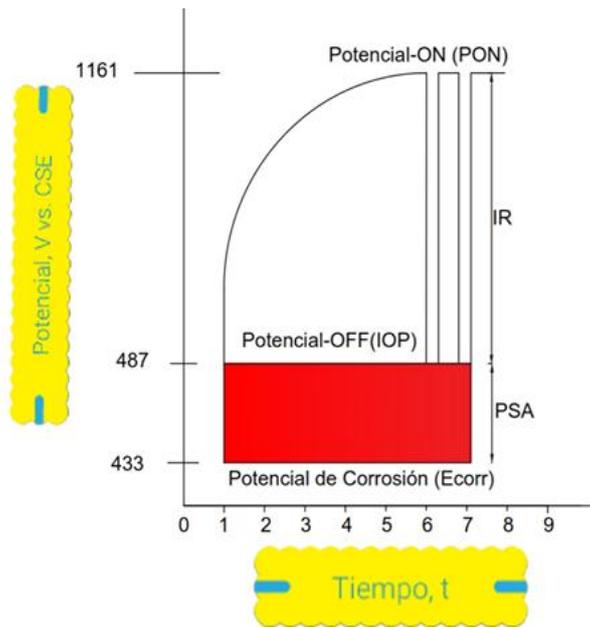
Gráfico 8-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque ATNK – 04 00 05 Diésel.



Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

El Gráfico 9-3 muestra la variación del potencial de la estructura de acero con respecto del suelo en un período de 8 horas, con ciclos de desconexión de la corriente de protección catódica (i_{CP}) de 1 segundo potencial-ON (conectado) y de 4 segundos potencial-OFF (desconectado), para la base del Tanque FTNK – 04 00 06 para almacenamiento de Diésel. Se empleó el Método del Potencial-OFF, midiendo el potencial de media celda de la estructura de acero inmediatamente después de que la corriente de protección (i_{CP}) se interrumpiese, para determinar el potencial polarizado en determinados puntos seleccionados. El valor promedio del potencial-ON (PON) fue de 1162 mV. El Gráfico 9-3 muestra, también, el valor promedio del potencial-OFF (IOP), siendo este de 487 mV. El cambio de polarización (PSA) producido fue 54 mV, el cual no cumple con el criterio del cambio en la polarización.

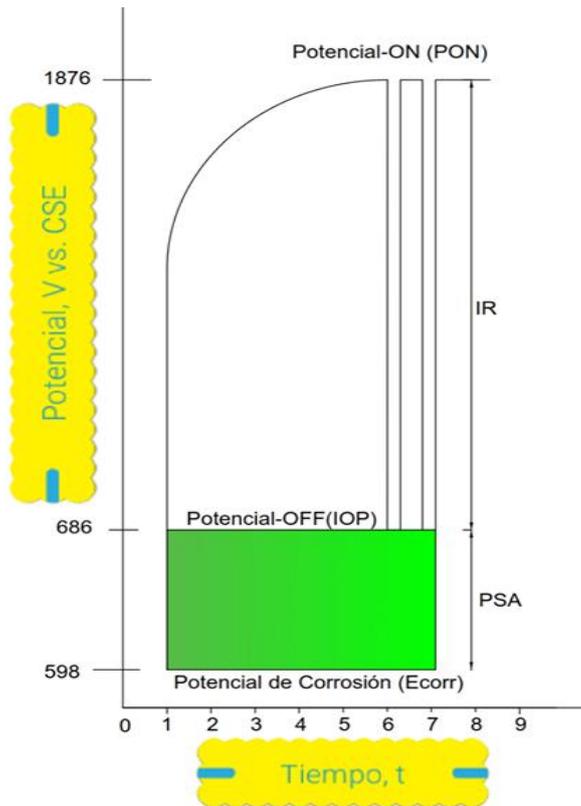
Gráfico 9-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque ATNK – 04 00 06 Diésel.



Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

El Gráfico 10-3 muestra la variación del potencial de la estructura de acero con respecto del suelo en un período de 8 horas, con ciclos de desconexión de la corriente de protección catódica (i_{CP}) de 1 segundo potencial-ON (conectado) y de 4 segundos potencial-OFF (desconectado), para la base del Tanque FTNK – 04 00 07 para almacenamiento de Slop. Se empleó el Método del Potencial-OFF, midiendo el potencial de media celda de la estructura de acero inmediatamente después de que la corriente de protección (i_{CP}) se interrumpiese, para determinar el potencial polarizado en determinados puntos seleccionados. El valor promedio del potencial-ON (PON) fue de 1877 mV. El Gráfico 10-3 muestra, también, el valor promedio del potencial-OFF (IOP), siendo este de 686 mV. El cambio de polarización (PSA) producido fue 100 mV, el cual cumple con el criterio del cambio en la polarización.

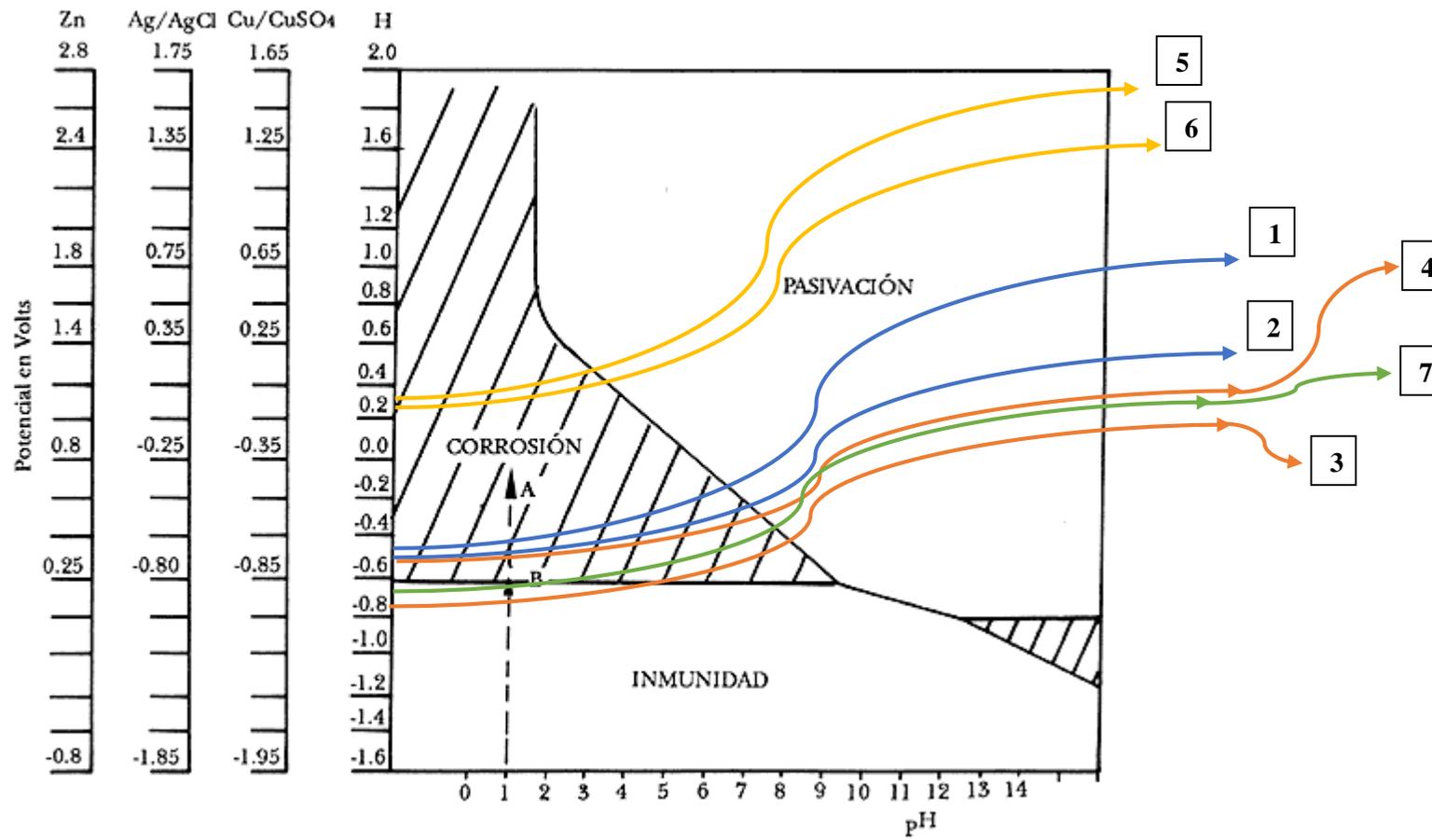
Gráfico 10-3. Potencial de la estructura – suelo frente al tiempo Tanque ATNK – 04 00 057 Slop.



Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

El Gráfico 11-3 muestra el principio de la Protección Catódica mediante un Diagrama Termodinámico potencial-pH. Basados en el criterio del Cambio en la Polarización de +/- 100 mV y en función del electrodo de referencia Cu/CuSO₄, se puede afirmar que todos los tanques se encuentran protegidos contra la corrosión, ya que los potenciales OFF alcanzados satisfacen las condiciones de inmunidad; a excepción de los Tanques ATNK – 04 00 05 y ATNK – 04 00 06 utilizados para el almacenamiento de Diésel cuyos potenciales OFF medidos fueron de 0.47 y 0.49 V respectivamente. Sin embargo, este problema se lo puede solucionar aumentando la salida de corriente de protección de los rectificadores que interfieren en dichas estructuras. De (40 A) se puede incrementar hasta cerca de tres veces (90 A) la corriente de protección inicial aplicada, obteniéndose de esta manera una mejor respuesta en los resultados y los potenciales anómalos registrados.

Gráfico 11-3. Diagrama Termodinámico potencial-pH.



Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Dónde:

1: TANQUE FTNK - 04 00 01 Gasolina Extra	0.66 V
2: TANQUE FTNK - 04 00 02 Gasolina Extra	0.67 V
3: TANQUE FTNK - 04 00 03 Gasolina Súper	0.71 V
4: TANQUE FTNK - 04 00 04 Gasolina Súper	0.67 V
5: TANQUE ATNK - 04 00 05 Diésel	0.47 V
6: TANQUE ATNK - 04 00 06 Diésel	0.49 V
7: TANQUE ATNK - 04 00 07 Slop	0.69 V

Finalmente, se realizaron mediciones de Fuerza Electromotriz (FEM) para conocer si los ánodos de sacrificio empleados en el sistema tienen aún capacidad operativa. La FEM promedio dio un valor aproximado de 1685 mV, por medio del cual se puede argumentar que los Ánodos Cinta de Titanio MMO empleados en el fondo de los tanques tienen propiedades eléctricas excelentes, larga vida (tasa de consumo despreciable) y además estabilidad dimensional, pudiendo de esta manera conseguir una protección uniforme. Sin embargo, se recomienda programar una parada de los tanques, con la finalidad de verificar si existe un mínimo desgaste en los Ánodos.

3.3. Requerimientos de Tecnología, Equipos y Maquinaria:

Para la Evaluación de la Efectividad del Sistema de Protección aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba, se utilizaron los siguientes equipos, mismos que se detallan a continuación:

Tabla 26-3: Equipos para la Medición de Espesores.

MEDICIÓN DE ESPESORES		
EQUIPO	CANTIDAD	DETERMINACION
Medidor de Espesores DMS Go	1	Espesor
Equipos Adicionales		
Cable coaxial con conector BNC - BNC		
Palpador simple haz longitudinal		
Acoplante: ultragel o glicerina		
Flexómetro o escalímetro, bolígrafo, papel absorbente y solvente		

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Tabla 27-3: Equipos para la Caracterización del Suelo.

CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	
ENSAYO	EQUIPO
Granulometría por Tamizado	Serie de Tamices Agregado Fino
Límite Líquido y Límite Plástico	Equipo de Casa Grande
	Set Ensayo Límite Plástico
Resistividad	Electrodos de acero inoxidable de $\phi = 1/4$ in
	Fuente de energía (batería)
	Amperímetro digital
	Voltímetro digital
	Alambre de cobre calibre # 18 AWG
	Cinta métrica
Contenido de Humedad	Horno de Secado

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Tabla 28-3: Equipos para la Medición del Potencial Electroquímico.

MEDICIÓN DEL POTENCIAL ELECTROQUÍMICO		
EQUIPO	CANTIDAD	DETERMINACIÓN/FUNCIÓN
Multímetro Digital Fluke 28 II	1	Voltaje
Interruptor de Corriente Sincronizable ICS 100 GPS	1	Interrupción de la Corriente

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.4. Análisis de Costo/Beneficio del Proyecto

3.4.1. Costo de la Inspección Ultrasonica

Tabla 29-3: Análisis de Costo de la Medición de Espesores en el Fondo de los Tanques.

CONCEPTO	EQUIPO	# TANQUE	# PUNTOS	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Medición de Espesores por Ultrasonido	Medidor de Espesores DMS Go	01 Gasolina Extra	3	12.50	37.50
		02 Gasolina Extra	3	12.50	37.50
		03 Gasolina Súper	3	12.50	37.50
		04 Gasolina Súper	3	12.50	37.50
		05 Diésel	3	12.50	37.50
		06 Diésel	3	12.50	37.50
		07 Slop	3	12.50	37.50
TOTAL					262.50

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.4.2. Costo de la Caracterización del Suelo

Tabla 30-3: Análisis de Costo de la Caracterización del Suelo del TPLR.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	SERV. L.C.C.M. RESISTIVIDAD DEL SUELO	84.00	84.00
1	SERV. L.C.C.M. GRANULOMETRIA COMPLETA	12.00	12.00
1	SERV. L.C.C.M. CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS	5.00	5.00
1	SERV. L.C.C.M. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO	5.00	5.00
1	SERV. L.C.C.M. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO	4.00	4.00
SUBTOTAL 12%			110.00
SUBTOTAL 0%			0.00
SUBTOTAL No Objeto de IVA			110.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS			
DESCUENTO			0.00
ICE			0.00
IVA 12%			13.20
VALOR TOTAL			123.20

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

3.4.3. Costo de la Medición del Potencial Electroquímico

Tabla 31-3: Análisis de Costo de las Mediciones de Potencial Electroquímico

CONCEPTO	EQUIPO	# TANQUE	# PUNTOS	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Mediciones de Potencial Electroquímico	Multímetro Digital Fluke 28 II. Interruptor de Corriente Sincronizable 100 GPS.	01 Gasolina Extra	3	18.50	55.50
		02 Gasolina Extra	3	18.50	55.50
		03 Gasolina Súper	3	18.50	55.50
		04 Gasolina Súper	3	18.50	55.50
		05 Diésel	3	18.50	55.50
		06 Diésel	3	18.50	55.50
		07 Slop	3	18.50	55.50
TOTAL					388.50

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Tabla 32-3: Costo Total de la Evaluación de la Efectividad del Sistema de PC.

DESCRIPCIÓN	VALOR (\$)
Medición de Espesores por Ultrasonido	262.50
Caracterización del Suelo	123.20
Medición de Potencial Electroquímico	388.50
TOTAL	774.20

Realizado por: Fernando Marcial, 2018.

Por medio del presente Análisis de Costos, se justifica que la inversión en el Proyecto denominado Evaluación de la Efectividad del Sistema de Protección Catódica aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP-Petroecuador es la adecuada, en vista de que se genera un notable beneficio, al prolongar la vida útil de los tanques, garantizando de esta manera una alta disponibilidad de Productos Limpios para poder satisfacer la demanda de Riobamba y su área de influencia hasta el año 2030.

3.5. Cronograma de Ejecución del Proyecto

CONCLUSIONES:

- Se diagnosticó el estado actual del fondo de los tanques de almacenamiento mediante inspección ultrasónica y tomando en cuenta el análisis de espesores medidos, se detectaron pequeñas zonas puntuales de desgaste, estos datos evidencian valores altos en la velocidad de corrosión promedio calculada de 0.152 mm/año aproximadamente en comparación con el criterio de la Norma API 653 correspondiente a 0.025 mm/año, por tal motivo se debe programar una próxima inspección de espesores en un periodo no mayor a 2 años, y a la vez se debe llevar a cabo un control de la corriente proveniente del rectificador con la finalidad de desacelerar el avance de la velocidad de corrosión. Consecuentemente, se obtuvo el valor promedio de la vida útil estimada de los tanques, el cual es de 17.13 años.
- De los análisis realizados a las muestras de suelo, se obtuvo: una resistividad de 12 500 Ω /cm, un porcentaje de humedad de 23.09%, un contenido de grava de 5%, un contenido de arena de 95% y un índice de plasticidad de 12.52%, lo que indica que el terreno en el cual se encuentran los Tanques de Almacenamiento de Combustibles es progresivamente menos corrosivo y a la vez apto para poseer un Sistema de Protección Catódica.
- Se realizaron mediciones de potencial electroquímico en determinados puntos seleccionados de cada uno de los tanques mediante el Método de Interrupción de la Corriente. Los potenciales registrados muestran los siguientes valores promedio: un Potencial ON de 1674 mV, un Potencial OFF de 620 mV y un Potencial Natural de 532 mV.
- Se realizaron mediciones de Fuerza Electromotriz (FEM) para conocer si los ánodos de sacrificio empleados en el sistema tienen aún capacidad operativa. La FEM promedio dio un valor aproximado de 1685 mV, por medio del cual se puede argumentar que los Ánodos que fueron seleccionados para la Protección Catódica de los tanques, poseen excelentes propiedades como resistencia a la acidez, un drenaje de corriente elevado con una baja tasa de consumo, en comparación a los sistemas tradicionales.
- De acuerdo al criterio de Polarización de + 100 mV expresado en la Norma NACE RP 0169-2007, todos los tanques de encuentran protegidos contra la corrosión, ya que los potenciales OFF alcanzados satisfacen las condiciones de inmunidad; a excepción del Tanque FTNK – 04 00 01 para Gasolina Extra y los Tanques ATNK – 04 00 05 y ATNK – 04 00 06 para el

almacenamiento de Diésel cuyos potenciales medidos fueron de 94, 57 y 54 mV respectivamente. Sin embargo, este problema se solucionó aumentando la salida de corriente de protección (I_{CP}) de los rectificadores/transformadores (R/T) que interfieren en dichas estructuras. De (40 A) se incrementó hasta cerca de tres veces (90 A) la corriente de protección inicial aplicada, obteniéndose de esta manera una mejor respuesta en los resultados y los potenciales anómalos registrados.

RECOMENDACIONES:

- Las inspecciones de los Tanques de Almacenamiento deben llevarse a cabo al menos una vez cada cinco años según lo estipulado por la Norma API 653.
- Realizar las mediciones utilizando equipos certificados y calibrados, con la finalidad de obtener datos correctos de monitoreo, que puedan ser verificados dentro del rango permitido para una adecuada protección de cada uno de los tanques.
- Programar ensayos ON – OFF anualmente para disponer de información estadística acerca del comportamiento de la Protección Catódica aplicado en el fondo de los Tanques de Almacenamiento de Combustibles.
- Para asegurar el correcto desempeño del Sistema Catódico Externo, y a la vez poder evitar la entrada de corrientes parásitas, se recomienda aislar a cada uno de los tanques mediante la instalación de juntas aislantes en toda instalación mecánica que ingrese a los tanques.
- Para evitar valores de potencial demasiado elevados, es recomendable llevar a cabo un control de la corriente DC proveniente del rectificador, por medio de una caja de conexiones con reóstato, modificando de esta manera la corriente de PC y por ende disminuyendo los valores de potenciales de polarización.
- El Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa analizado en la presente investigación, tiene que ser identificado y evaluado en la Matriz de Aspectos e Impactos Ambientales.

BIBLIOGRAFÍA:

1. **API STANDARD 650**, *Welded Tanks for Oil Storage*, Twelfth Edition, Section 8: Methods of Examining Joints, March 2013.
2. **API STANDARD 651**, *Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks*, 2nd Edition, Section 4: Corrosion of Aboveground Steel Storage Tanks, November 1997.
3. **API STANDARD 653**, *Tank Inspection, Repair, Alteration and Reconstruction*, 5a. ed., Section 6: Inspection, November 2014.
4. **NRF-017-PEMEX**, *Protección Catódica en Tanques de Almacenamiento*, Sección 6: Definiciones, Agosto 2007.
5. **PDVSA HA-201**, *Manual de Ingeniería de Diseño Sistemas de Protección Catódica*, Sección 8: Protección Catódica por Corriente Impresa, Junio 2004.
6. **NACE STANDARD SP 0169**, *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems*, Section 6: Criteria and Other Considerations for Cathodic Protection, April 2013.
7. **NACE STANDARD TM 0497**, *Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems*, Section 10: Test Method 3 – Cathodic Polarization of Metallic Piping, December 2012.
8. **NACE STANDARD RP 0193**, *External Cathodic Protection of On – Grade Carbon Steel Storage Tank Bottoms*, Section 8: Design Considerations – Cathodic Protection for Tanks with Replacement Bottoms or Release Prevention Barriers, October 2001.
9. **NACE STANDARD TM 0101**, *Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection of Underground Storage Tank Systems*, Section 10: Test Method 3 – 100 mV Cathodic Polarization of Steel Undergroud Storage Tank Systems, March 2012.
10. **NACE STANDARD RP 0502**, *Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology*, Section 5: Direct Examinations, October 2002.
11. **A. W. PEABODY**. *Control of Pipeline Corrosion*. Second Edition. Houston, Texas: Ronald L. Bianchetti, 2001, pp. 163-182.
12. **EINAR BARDAL**. *Corrosion and Protection*. London: Springer Verlag, 1933, pp. 266-269.
13. **ARGO S.A SOCIEDAD ESPAÑOLA DE TRATAMIENTOS ANTICORROSIVOS**. *Catálogo Principios de Protección Catódica [en línea]*. España:

Bureau Veritas Certification, 2003. [Consulta: 18 de Abril del 2018]. Disponible en:
<https://www.obralia.com/dir/minisites/catalogos/92272/catalogo.pdf>.

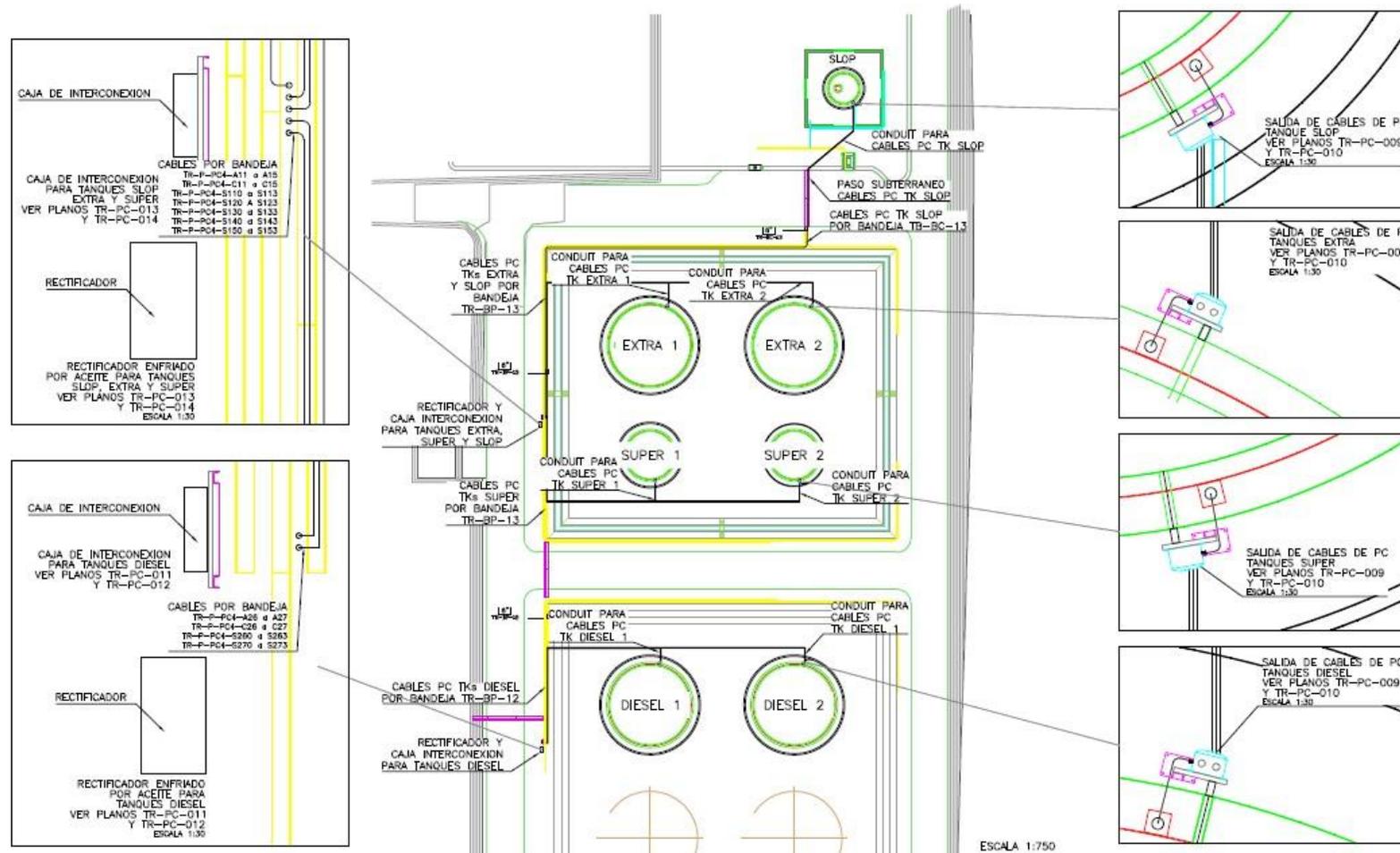
14. **CABRERA, RAÚL**, *Apuntes de Ensayos no Destructivos*, Documento.
15. **ALEBACHEW DEMOZ**, *Resistance of Impressed Current Grid Anodes for AST Bottoms*. Edition 43, 9. Materials Performance, 2004, pp. 18-21.

ANEXOS

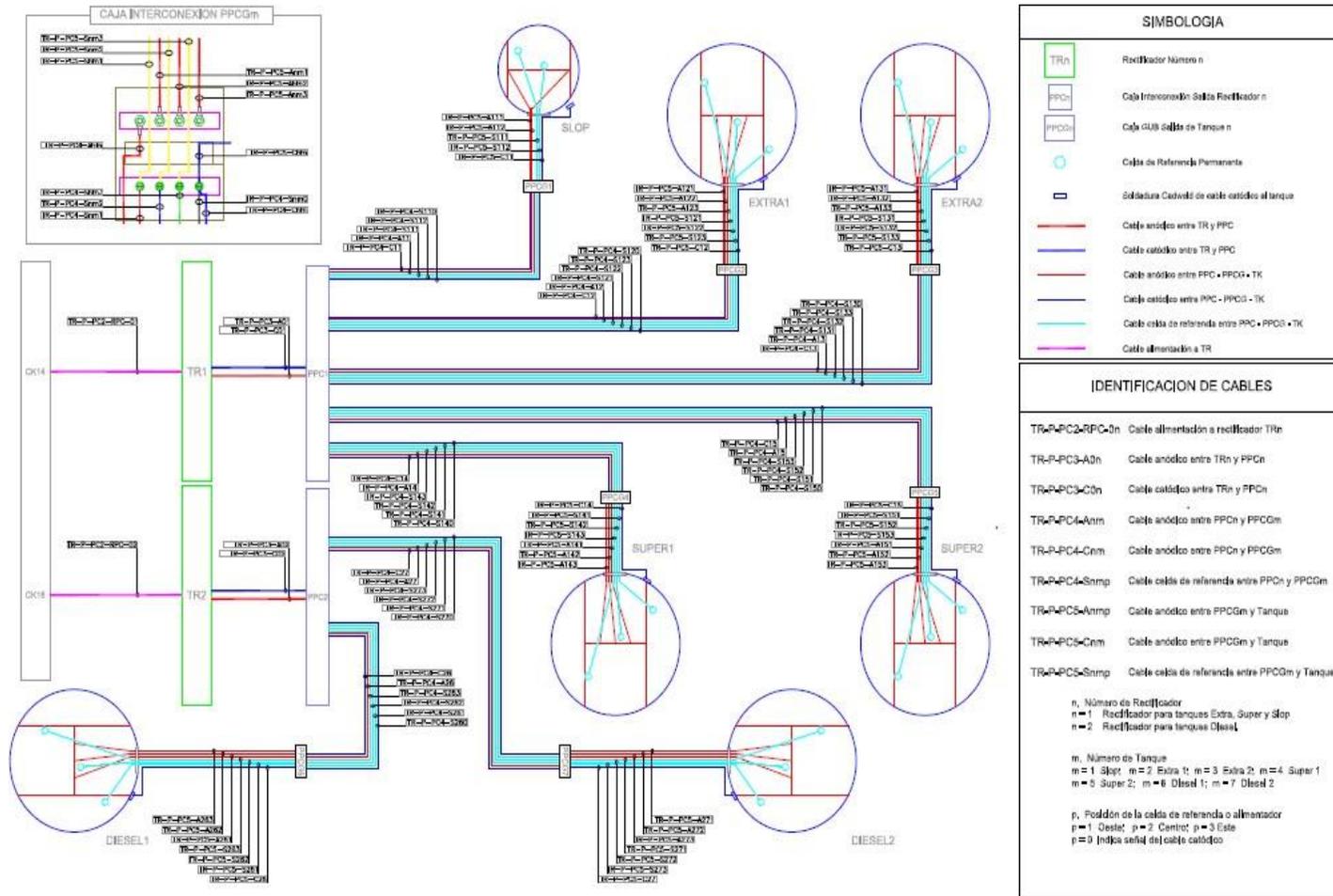
Anexo A: Terminal de productos limpios Riobamba.



Anexo B: Diseño general del sistema de protección catódica.



Anexo C: Diagrama de conexionado.



Anexo D: Hoja de registro de espesores.

HOJA DE REGISTRO DE ESPESORES			
Cliente:	Terminal de Productos Limpios Riobamba		
Proyecto:	"Evaluación de la Efectividad del Sistema de Protección Catódica aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP – Petroecuador"		
			
Equipos de Prueba		Marca - # de Serie	
Medidor de Espesores		DMS Go	
Nombre de la Zona	Tanques de Almacenamiento de Combustibles		
Registro de Espesores			
Medio	Tanque #	Espesores Fondo del Tanque (mm)	Condiciones del Terreno
Suelo	01 Gasolina Extra	5.74	Árido Fino
	02 Gasolina Extra	5.43	
	03 Gasolina Súper	4.92	
	04 Gasolina Súper	4.95	
	05 Diésel	5.51	
	06 Diésel	5.10	
	07 Slop	4.80	
Notas:	Para la medición del espesor del fondo de cada uno de los tanques de almacenamiento de combustibles no fue necesario remover la capa de pintura, debido a que se utilizó un medidor con palpador capaz de atravesar dicha capa protectora.		
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre:	Fernando Marcial	Ing. Marco Chuiza	Ing. Jorge Bolaños
Cargo:	Estudiante de Ing. Química - ESPOCH	Director del Trabajo de Titulación	Jefe del TPLR
Firma:			
Fecha:	23/04/2018	17/05/2018	27/04/2018

Anexo E: Hoja de registro de potenciales.

HOJA DE REGISTRO DE POTENCIALES				
Cliente:	Terminal de Productos Limpios Riobamba			
Proyecto:	"Evaluación de la Efectividad del Sistema de Protección Catódica aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP - Petroecuador			
				
Equipos de Prueba			Marca - # de Serie	
Multímetro Digital			Fluke 28 II	
Interruptor de Corriente Sincronizable			100 GPS	
Tanque #	TANQUE FTNK - 04 00 01 Gasolina Extra			
Registro de Potenciales				
Medio	Posiciones #	Potencial ON	Potencial Natural	Potencial OFF
Suelo	1	1847	574	665
	2	1895	577	670
	3	1757	547	645
Notas:	La medición de los potenciales electroquímicos se llevó a cabo mediante un multímetro digital y la corriente se interrumpió en el intervalo (1 min ON – 4 min OFF)			
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:	
Nombre:	Fernando Marcial	Ing. Marco Chuiza	Ing. Jorge Bolaños	
Cargo:	Estudiante de Ing. Química - ESPOCH	Director del Trabajo de Titulación	Jefe del TPLR	
Firma:				
Fecha:	05/03/2018 09/03/2018	17/05/2018	27/04/2018	

HOJA DE REGISTRO DE POTENCIALES

Cliente:	Terminal de Productos Limpios Riobamba
Proyecto:	"Evaluación de la Efectividad del Sistema de Protección Catódica aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP - Petroecuador



Equipos de Prueba	Marca - # de Serie
Multímetro Digital	Fluke 28 II
Interruptor de Corriente Sincronizable	100 GPS

Tanque #	TANQUE FTKN - 04 00 02 Gasolina Extra
-----------------	---------------------------------------

Registro de Potenciales

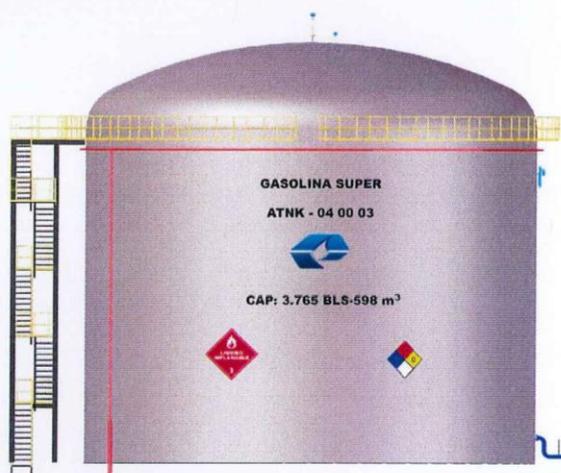
Medio	Posiciones #	Potencial ON	Potencial Natural	Potencial OFF
Suelo	1	1900	567	659
	2	1900	562	649
	3	2040	568	689

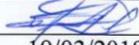
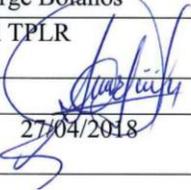
Notas: La medición de los potenciales electroquímicos se llevó a cabo mediante un multímetro digital y la corriente se interrumpió en el intervalo (1 min ON – 4 min OFF)

	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre:	Fernando Marcial	Ing. Marco Chuiza	Ing. Jorge Bolaños
Cargo:	Estudiante de Ing. Química - ESPOCH	Director del Trabajo de Titulación	Jefe del TPLR
Firma:			
Fecha:	12/03/2018 16/03/2018	17/05/2018	27/04/2018

HOJA DE REGISTRO DE POTENCIALES

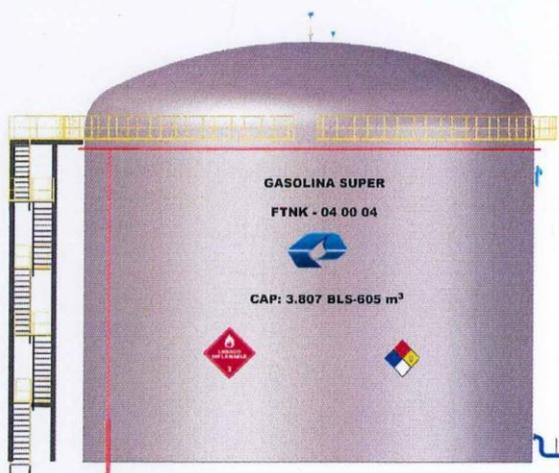
Cliente:	Terminal de Productos Limpios Riobamba
Proyecto:	"Evaluación de la Efectividad del Sistema de Protección Catódica aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP - Petroecuador

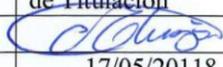


Equipos de Prueba		Marca - # de Serie		
Multímetro Digital		Fluke 28 II		
Interruptor de Corriente Sincronizable		100 GPS		
Tanque #	TANQUE FTNK - 04 00 03 Gasolina Súper			
Registro de Potenciales				
Medio	Posiciones #	Potencial ON	Potencial Natural	Potencial OFF
Suelo	1	1856	597	704
	2	1875	572	710
	3	1863	591	714
Notas:	La medición de los potenciales electroquímicos se llevó a cabo mediante un multímetro digital y la corriente se interrumpió en el intervalo (1 min ON – 4 min OFF)			
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:	
Nombre:	Fernando Marcial	Ing. Marco Chuiza	Ing. Jorge Bolaños	
Cargo:	Estudiante de Ing. Química - ESPOCH	Director del Trabajo de Titulación	Jefe del TPLR	
Firma:				
Fecha:	19/03/2018 23/03/2018	17/05/2018	27/04/2018	

HOJA DE REGISTRO DE POTENCIALES

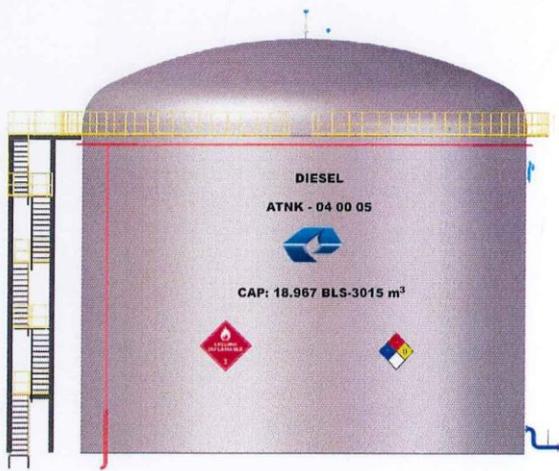
Cliente:	Terminal de Productos Limpios Riobamba
Proyecto:	"Evaluación de la Efectividad del Sistema de Protección Catódica aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP - Petroecuador



Equipos de Prueba		Marca - # de Serie		
Multímetro Digital		Fluke 28 II		
Interruptor de Corriente Sincronizable		100 GPS		
Tanque #	TANQUE FTNK - 04 00 04 Gasolina Súper			
Registro de Potenciales				
Medio	Posiciones #	Potencial ON	Potencial Natural	Potencial OFF
Suelo	1	1790	562	661
	2	1621	553	666
	3	1800	550	668
Notas:	La medición de los potenciales electroquímicos se llevó a cabo mediante un multímetro digital y la corriente se interrumpió en el intervalo (1 min ON – 4 min OFF)			
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:	
Nombre:	Fernando Marcial	Ing. Marco Chuiza	Ing. Jorge Bolaños	
Cargo:	Estudiante de Ing. Química - ESPOCH	Director del Trabajo de Titulación	Jefe del TPLR	
Firma:				
Fecha:	26/03/2018 30/03/2018	17/05/2018	27/04/2018	

HOJA DE REGISTRO DE POTENCIALES

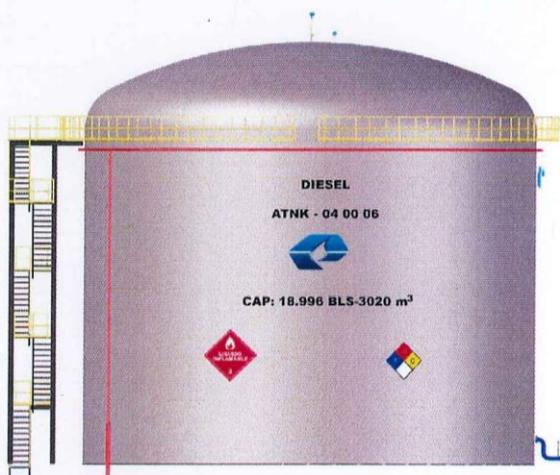
Cliente:	Terminal de Productos Limpios Riobamba
Proyecto:	"Evaluación de la Efectividad del Sistema de Protección Catódica aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP - Petroecuador

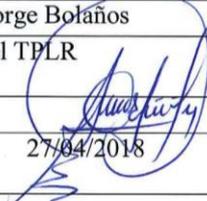


Equipos de Prueba		Marca - # de Serie		
Multímetro Digital		Fluke 28 II		
Interruptor de Corriente Sincronizable		100 GPS		
Tanque #	TANQUE ATNK - 04 00 05 Diésel			
Registro de Potenciales				
Medio	Posiciones #	Potencial ON	Potencial Natural	Potencial OFF
Suelo	1	1300	430	524
	2	1347	404	413
	3	1259	416	474
Notas:	La medición de los potenciales electroquímicos se llevó a cabo mediante un multímetro digital y la corriente se interrumpió en el intervalo (1 min ON – 4 min OFF)			
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:	
Nombre:	Fernando Marcial	Ing. Marco Chuiza	Ing. Jorge Bolaños	
Cargo:	Estudiante de Ing. Química - ESPOCH	Director del Trabajo de Titulación	Jefe del TPLR	
Firma:				
Fecha:	02/04/2018 06/03/2018	17/05/2018	27/04/2018	

HOJA DE REGISTRO DE POTENCIALES

Cliente:	Terminal de Productos Limpios Riobamba
Proyecto:	"Evaluación de la Efectividad del Sistema de Protección Catódica aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP - Petroecuador



Equipos de Prueba		Marca - # de Serie		
Multímetro Digital		Fluke 28 II		
Interruptor de Corriente Sincronizable		100 GPS		
Tanque #	TANQUE ATNK - 04 00 06 Diésel			
Registro de Potenciales				
Medio	Posiciones #	Potencial ON	Potencial Natural	Potencial OFF
Suelo	1	1085	429	490
	2	1282	454	512
	3	1118	416	458
Notas:	La medición de los potenciales electroquímicos se llevó a cabo mediante un multímetro digital y la corriente se interrumpió en el intervalo (1 min ON – 4 min OFF)			
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:	
Nombre:	Fernando Marcial	Ing. Marco Chuiza	Ing. Jorge Bolaños	
Cargo:	Estudiante de Ing. Química - ESPOCH	Director del Trabajo de Titulación	Jefe del TPLR	
Firma:				
Fecha:	09/04/2018 13/04/2018	17/05/2018	27/04/2018	

HOJA DE REGISTRO DE POTENCIALES

Cliente:	Terminal de Productos Limpios Riobamba
Proyecto:	"Evaluación de la Efectividad del Sistema de Protección Catódica aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el Terminal de Productos Limpios Riobamba de la EP - Petroecuador



Equipos de Prueba		Marca - # de Serie		
Multímetro Digital		Fluke 28 II		
Interruptor de Corriente Sincronizable		100 GPS		
Tanque #	TANQUE ATNK - 04 00 07 Slop			
Registro de Potenciales				
Medio	Posiciones #	Potencial ON	Potencial Natural	Potencial OFF
Suelo	1	1988	607	725
	2	1765	590	647
Notas: La medición de los potenciales electroquímicos se llevó a cabo mediante un multímetro digital y la corriente se interrumpió en el intervalo (1 min ON – 4 min OFF)				
	Registrado por:	Revisado por:	Aprobado por:	
Nombre:	Fernando Marcial	Ing. Marco Chuiza	Ing. Jorge Bolaños	
Cargo:	Estudiante de Ing. Química - ESPOCH	Director del Trabajo de Titulación	Jefe del TPLR	
Firma:				
Fecha:	16/04/2018 20/04/2018	17/05/2018	27/04/2018	

Anexo F: Informe de ensayo de contenido de humedad.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
LABORATORIO DE **CONTROL DE CALIDAD** DE MATERIALES

FACULTAD DE INGENIERÍA

HOJA 1 de 5
No: LCCM-IE-034-2018

INFORME DE ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD
(NORMA INEN 690 - ASTM D 2216 – AASHTO T265)

Solicitante: Sr. Fernando Marcial.	Teléfono del solicitante: 0996468116.
Dirección del solicitante: Ambato.	Obra: Caracterización del Suelo.
Dirección y/o lugar de Ensayo: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES (UNACH).	
Tipo de Muestra: Árido Fino.	Fecha de Ensayo: 7 y 8 de Mayo de 2018.
Instrumento/Tipo: Horno de Secado.	Hora de Ensayo: Varias.
Fecha de Elaboración de Informe de Ensayo: 10 de Mayo de 2018.	Fecha de Entrega de Informe de Ensayo: 10 de Mayo de 2018.

RESULTADOS:

INFORMACIÓN GENERAL			
REALIZADOS SOBRE:	MAT. DE SUELO ZONA DE TANQUES	UBICACIÓN:	RIOBAMBA
MUESTRA No. :	034 CC1	ORIGEN M.	RIOBAMBA

CONTENIDO DE AGUA				
RECIPIENTE		REC.+ SH (g)	REC. + SS (G)	CONT. AGUA (g)
No.	MASA (g)			
PG	17.70	67.80	54.60	24.18
M3	18.00	64.30	52.70	22.01
PROMEDIO W=		23.09 %		

Acuerdos entre el solicitante y LCCM:

- El ensayo NO fue presenciado por el Solicitante

Nota:

- Las muestras de suelo fueron ensayadas siguiendo las normas y procedimientos específicos de ensayo del LCCM.
- El laboratorio LCCM únicamente se responsabiliza de los resultados de los ensayos y no se responsabiliza de la toma de las muestras.

Ing. Cristina Polo
Técnica Laboratorio LCCM:
UNACH



Revisado por:
Ing. Oscar Cevallos, Ph.D.
Técnico de Laboratorio LCCM



Nota: Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron. La UNACH no se responsabiliza por un mal uso que se dé al mismo. Los datos obtenidos son exclusivos de la muestra analizada. Se prohíbe la reproducción parcial de este informe, sin la autorización del Laboratorio de Control de Calidad de los Materiales.
Nota: Para que los informes de los ensayos realizados en el Laboratorio de Control de Calidad de los Materiales sean aceptados deberán tener las firmas de responsabilidad, sello de tinta del laboratorio y sello seco de la institución.

Campus Universitario Ms.C. Edison Riera R.
Av. Antonio José de Sucre Km. 1 ½ vía a Guano
Teléfono: 2364307 ext: 214, 200
RIOBAMBA – CHIMBORAZO – ECUADOR

FMC2101-01

Tecnología, Humanismo y Calidad.

Anexo G: Informe de ensayo granulométrico por tamizado (agregado fino).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES

FACULTAD DE INGENIERÍA

HOJA 2 de 5
No: LCCM-IE-034-2018

INFORME DE ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (AGREGADO FINO)
(NORMA INEN 696 - INEN 697 - ASTM D 422 - AASHTO T88)

Solicitante: Sr. Fernando Marcial.	Teléfono del solicitante: 0996468116.
Dirección del solicitante: Ambato.	Obra: Caracterización del Suelo.
Dirección y/o lugar de Ensayo: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES (UNACH).	
Tipo de Muestra: Árido Fino.	Fecha de Ensayo: 7 y 8 de Mayo de 2018.
Instrumento/Tipo: Horno de Secado, Serie de Tamices Agregado Fino.	Hora de Ensayo: Varias.
Fecha de Elaboración de Informe de Ensayo: 10 de Mayo de 2018.	Fecha de Entrega de Informe de Ensayo: 10 de Mayo de 2018.

RESULTADOS:

INFORMACIÓN GENERAL			
REALIZADOS SOBRE:	MAT. DE SUELO ZONA DE TANQUES	UBICACIÓN:	RIOBAMBA
MUESTRA No.:	034 CC1	ORIGEN M.	RIOBAMBA

CANTIDAD INICIAL DE MATERIAL	
Recipiente No:	1
Masa del recipiente:	540.0 g
Masa recipiente+suelo seco:	1,116.0 g
Masa suelo seco:	576.0 g

#	Tamiz Tamaño(mm)	Masa Retenida Parcial (g)	Porcentajes		
			Ret Parcial %	Ret Acumulada %	Pasa %
4	4.750	27	5	5	95
10	2.000	66	11	16	84
40	0.425	201	35	51	49
100	0.150	196	34	85	15
200	0.075	76	13	98	2
BANDEJA	0.000	10	2	100	0
MASA TOTAL:		576			

RESULTADOS					
D10 =	0.135	D30 =	0.311	D60 =	1.017
Cu=	7.5	% Grava	5	% Arena	95
Cc=	0.71	% Finos=	0		



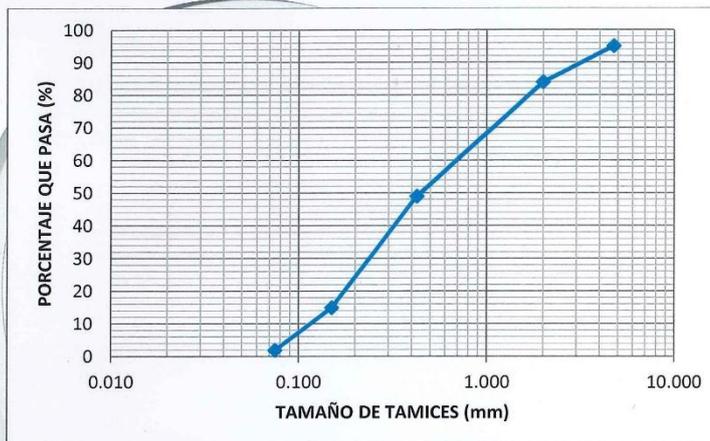
Campus Universitario Ms.C. Edison Riera R.
Av. Antonio José de Sucre Km. 1 ½ vía a Guano
Teléfono: 2364307 ext: 214, 200
RIOBAMBA - CHIMBORAZO - ECUADOR

FMC2101-01

Tecnología, Humanismo y Calidad



CURVA GRANULOMÉTRICA



Acuerdos entre el solicitante y LCCM:

- El ensayo NO fue presenciado por el Solicitante

Nota:

- Las muestras de suelo fueron ensayadas siguiendo las normas y procedimientos específicos de ensayo del LCCM.
- El laboratorio LCCM únicamente se responsabiliza de los resultados de los ensayos y no se responsabiliza de la toma de las muestras.

Ing. Cristina Polo
Técnica Laboratorio LCCM:
UNACH



Revisado por:

Ing. Oscar Cevallos, Ph.D.
Técnico de Laboratorio LCCM

Nota: Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron. La UNACH no se responsabiliza por un mal uso que se dé al mismo. Los datos obtenidos son exclusivos de la muestra analizada. Se prohíbe la reproducción parcial de este informe, sin la autorización del Laboratorio de Control de Calidad de los Materiales.
Nota: Para que los informes de los ensayos realizados en el Laboratorio de Control de Calidad de los Materiales sean aceptados deberán tener las firmas de responsabilidad, sello de tinta del laboratorio y sello seco de la institución.

Anexo H: Informe de ensayo de determinación de límite líquido y límite plástico.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
LABORATORIO DE **CONTROL DE CALIDAD** DE MATERIALES

FACULTAD DE INGENIERÍA

HOJA 4 de 5
No: LCCM-IE-034-2018

INFORME DE ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO
(NORMA INEN 691 - INEN 692 - ASTM D 4318 – AASHTO T89 – AASHTO T90)

Solicitante: Sr. Fernando Marcial.	Teléfono del solicitante: 0996468116.
Dirección del solicitante: Ambato.	Obra: Caracterización del Suelo.
Dirección y/o lugar de Ensayo: LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES (UNACH).	
Tipo de Muestra: Árido Fino.	Fecha de Ensayo: 7 y 8 de Mayo de 2018.
Instrumento/Tipo: Horno de Secado, Tamices, Equipo de Casa Grande, Set Ensayo Límite Plástico.	Hora de Ensayo: Varias.
Fecha de Elaboración de Informe de Ensayo: 10 de Mayo de 2018.	Fecha de Entrega de Informe de Ensayo: 10 de Mayo de 2018.

RESULTADOS:

Origen de la muestra		Zona de Tanques				
Condición de la muestra		Secado al aire antes y durante la preparación				
Material retenido:		Tamiz Nº 40				
LÍMITE LÍQUIDO						
Nº de golpes	Cápsula	Peso cápsula (g)	Peso cápsula+suelo húmedo (g)	Peso cápsula+suelo seco (g)	% Humedad	Promedio (%) Humedad
38	M2	16.00	33.10	30.20	20.42	28.27
	B4	18.30	33.00	29.10	36.11	
26	G3	18.40	28.10	25.80	31.08	30.85
	5h	18.40	31.20	28.20	30.61	
16	D3	18.40	36.40	31.80	34.33	33.96
	C8	18.30	35.00	30.80	33.60	
5	A4	17.20	31.70	27.60	39.42	38.26
	D2	18.10	26.60	24.30	37.10	
LÍMITE PLÁSTICO						
Cápsula	Peso cápsula (g)	Peso cápsula+suelo húmedo (g)	Peso cápsula+suelo seco (g)	% Humedad	Promedio (%) Humedad	
M2	18.00	19.00	18.80	25.00	34.72	
B3	17.50	18.80	18.40	44.44		

CÁLCULO DEL ÍNDICE PLASTICIDAD

LP 34.72 %
LL 22.20 %
IP -12.52



MATERIAL NO PLÁSTICO (NP)



Campus Universitario **Ms.C. Edison Riera R.**
Av. Antonio José de Sucre Km. 1 ½ vía a Guano
Teléfono: 2364307 ext: 214, 200

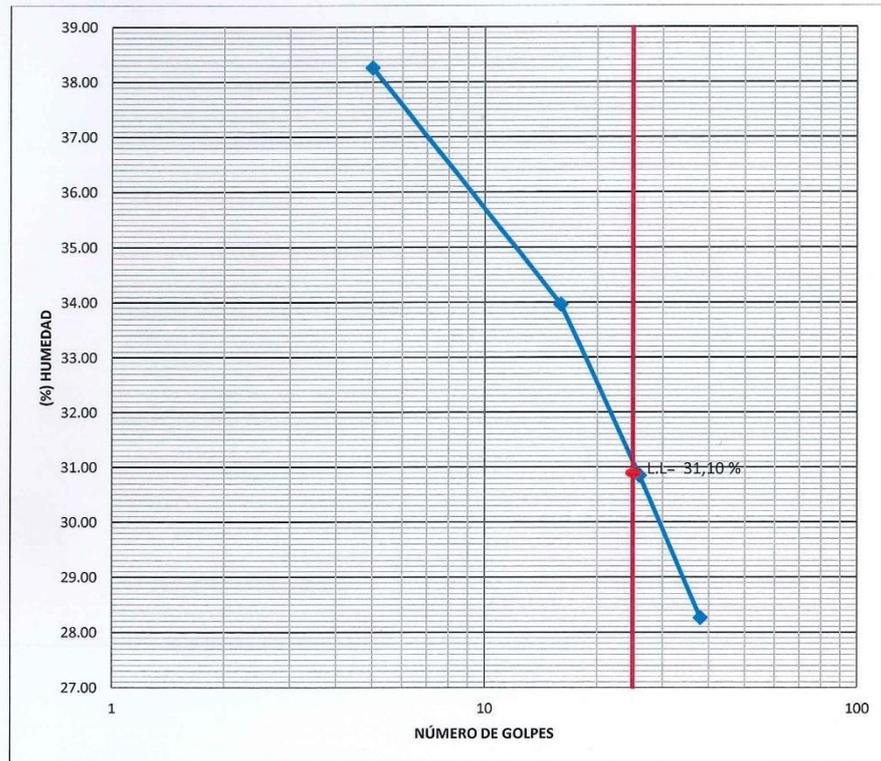
RIOBAMBA – CHIMBORAZO - ECUADOR

FMC2101-01

Tecnología, Humanismo y Calidad



GRÁFICA % DE HUMEDAD VS. NÚMERO DE GOLPES



Acuerdos entre el solicitante y LCCM:

- El ensayo NO fue presenciado por el Solicitante

Nota:

- Las muestras de suelo fueron ensayadas siguiendo las normas y procedimientos específicos de ensayo del LCCM.
- El laboratorio LCCM únicamente se responsabiliza de los resultados de los ensayos y no se responsabiliza de la toma de las muestras.

Ing. Cristina Polo
Técnica Laboratorio LCCM:
UNACH

Revisado por:
Ing. Oscar Cevallos, Ph.D.
Técnico de Laboratorio LCCM

Nota: Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron. La UNACH no se responsabiliza por un mal uso que se dé al mismo. Los datos obtenidos son exclusivos de la muestra analizada. Se prohíbe la reproducción parcial de este informe, sin la autorización del Laboratorio de Control de Calidad de los Materiales.
Nota: Para que los informes de los ensayos realizados en el Laboratorio de Control de Calidad de los Materiales sean aceptados deberán tener las firmas de responsabilidad, sello de tinta del laboratorio y sello seco de la institución.

Anexo I: Medición de espesores.



A)



B)

NOTAS:	CATEGORIA DEL DIGRAMA	<p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>FERNANDO MARCIAL</p>	<p><i>EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA APLICADO A LA BASE DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES EN EL TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS RIOBAMBA DE LA EP PETROECUADOR</i></p>			
<p>a) Limpieza de la superficie del fondo de los Tanques.</p> <p>b) Medición y registro de espesores.</p>	<p><input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR</p> <p><input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR</p> <p><input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN</p>		<p>LÁMIN A</p>	<p>ESCAL A</p>	<p>FECHA</p>	
			<p>01</p>	<p>X:1 Y:1</p>	<p>27/04/2018</p>	

Anexo J: Medición de potenciales electroquímicos.



A)



B)

NOTAS:	CATEGORIA DEL DIGRAMA	ESPOCH	<i>EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA APLICADO A LA BASE DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES EN EL TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS RIOBAMBA DE LA EP PETROECUADOR</i>		
a) Medición y registro de potenciales electroquímicos. b) Interrupción de la corriente en los rectificadores.	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA FERNANDO MARCIAL	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			02	X:1 Y:1	27/04/2018