



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE TECNOLOGÍA DE PETRÓLEOS**

**“ESTUDIO DESCRIPTIVO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DEL
SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA EN LOS TANQUES
DEL NUEVO TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS DE
RIOBAMBA OPERADO POR EP-PETROECUADOR”.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE TECNÓLOGO DE PETRÓLEOS**

ALEX SANTIAGO VELARDE BARROS

DIRECTOR: ING. RAÚL BALDEÓN

QUITO, SEPTIEMBRE 2014

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2014
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **ALEX SANTIAGO VELARDE BARROS**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Alex Santiago Velarde Barros

C.I.1719870295

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Estudio Descriptivo sobre la Implementación del Sistema de Protección Catódica en los Tanques del nuevo Terminal de Productos Limpios de Riobamba Operado por Ep-Petroecuador**”, que, para aspirar al título de **Tecnólogo en Petróleos** fue desarrollado por **Alex Santiago Velarde Barros**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

Ing. Raúl Baldeón
DIRECTOR DEL TRABAJO
C.I. 1708042534

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, por ser el pilar más importante en mi vida y por demostrarme siempre su cariño, apoyo incondicional y confianza, lo que me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mi sobrino adorado que es como un hermano para mí por compartir momentos significativos conmigo y ve en mí un ejemplo a seguir.

Finalmente a todas las personas que creyeron en mí y me dieron un consejo en el momento indicado, para lograr crecer como persona y como profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar todos los obstáculos y las dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres Carlos y Aida, quienes con su confianza y comprensión me han demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos. Gracias por los sacrificios y la paciencia que han demostrado en todos estos años.

A mi profesor, director y tutor de tesis Ing. Raúl Baldeón, quién con sus conocimientos, sus orientaciones y su motivación ha sido fundamental para mi formación profesional.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa o indirectamente en la realización de este trabajo.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	i
INDICE DE FIGURAS.....	iv
INDICE DE TABLAS.....	vi
INDICE DE ANEXOS.....	vii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I.....	3
1.1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	6
1.3. OBJETIVOS.....	7
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
CAPITULO II.....	8
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	8
2.1.1. TANQUES HORIZONTALES.....	9
2.1.2. TANQUES VERTICALES.....	10
2.1.3. TANQUES ESFÉRICOS.....	11
2.2. CONSIDERACIONES DE LOS LÍQUIDOS A ALMACENARSE.....	12
2.2.1. COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN.....	13
2.2.2. DIFUSIÓN.....	14
2.2.3. FORMA Y VOLUMEN.....	14
2.2.4. VISCOSIDAD.....	15
2.2.5. DENSIDAD.....	15
2.2.6. PESO ESPECÍFICO.....	17

2.2.7. GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	17
2.3. NORMA API 650.....	18
2.3.1. NOTAS ESPECIALES DE LA NORMA.....	18
2.3.2 ALCANCE DE LA NORMA.....	19
2.3.3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	19
2.3.4. ASPECTOS GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	21
2.4. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE CORROSIÓN.....	24
2.4.1. CORROSIÓN.....	24
2.4.2. CLASIFICACIÓN O FORMAS DE CORROSIÓN.....	35
CAPÍTULO III.....	47
3. METODOLOGÍA.....	47
3.1. LA PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES.....	47
3.1.1. SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR ÁNODOS GALVÁNICOS.....	47
3.1.2. SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA.....	50
3.2. MATERIAL DE LOS ANODOS.....	56
3.2.1. ÁNODOS DE GRAFITO.....	56
3.2.2. ÁNODOS DE HIERRO FUNDIDO CON ALTO GRADO DE SILICIO.....	57
3.2.3. ÁNODOS DE MEZCLA DE ÓXIDOS METÁLICOS.....	58
3.2.4. ÁNODOS DE PLATINO.....	59
CAPITULO IV.....	61
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	61
4.1. Cálculos de las Resistencias del Tanque Diesel T-230.....	63

4.2.	Cálculos de las Resistencias del Tanque Diesel T-231.....	67
4.3.	Cálculos del Rectificador de los Tanque Diesel T-230/T-231..	71
4.4.	Cálculos de las Resistencias del Tanque Extra T-210	72
4.5.	Cálculos de las Resistencias del Tanque Extra T-211	76
4.6.	Cálculos de las Resistencias del Tanque Super T-220.....	80
4.7.	Cálculos de las Resistencias del Tanque Super T-221	84
4.8.	Cálculos de las Resistencias del Tanque Slop T-250	88
CAPÍTULO V.....		93
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
5.1.	CONCLUSIONES.....	93
5.2.	RECOMENDACIONES	95
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	97
7.	ANEXOS.....	99

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Tanques Horizontales, Proceso de Licuefacción de GLP	9
Figura 2.2. Tanque Vertical de Techo Fijo	10
Figura 2.3. Tanques Verticales de Techo Flotante	11
Figura 2.4. Tanques Esféricos para Almacenamiento de GLP.	12
Figura 2.5. Efectos de la Presión Sobre el Volumen de Líquidos y Gases ...	13
Figura 2.6. Fenómenos de Difusión de un Líquido en Otro	14
Figura 2.7. Medición de la Viscosidad de un Líquido	15
Figura 2.8. Medición de la Densidad de un Líquido	16
Figura 2.9. Diseño Preliminar de un Tanque Mediante Herramientas Computacionales, (Análisis Estructural y de Cargas)	21
Figura 2.10. Construcción de un Tanque de Almacenamiento	22
Figura 2.11. Procedimiento de Soldadura de un Tanque de Almacenamiento	23
Figura 2.12. Procedimiento de Montaje de un Tanque de Almacenamiento	24
Figura 2.13. Efectos de la Corrosión en el Interior de un Tanque de Almacenamiento	25
Figura 2.14. Zonas Formadas en el Cuerpo Metálico por Efecto de la Corrosión	26
Figura 2.15. Celda Galvánica Recreada en el Laboratorio.	28
Figura 2.16. Reacción Química Común en Procesos de Corrosión Generada por Exposición al Ambiente	30
Figura 2.17. Flujo de Corriente en una Celda de Corrosión	31
Figura 2.18. Corrosión por Efecto de Gases Disueltos	33
Figura 2.19. Acción Electroquímica En Una Superficie Metálica Mojada	36
Figura 2.20. Corrosión Seca Cuando el Oxígeno Reacciona con el Metal ..	37

Figura 2.21. Corrosión Generalizada en el Metal	38
Figura 2.22. Corrosión Generalizada en el Metal	39
Figura 2.23. Corrosión Galvánica en Piezas Metálicas.	40
Figura 2.24. Pieza Metálica Afectada a Causa de la Corrosión por Erosión.	41
Figura 2.25. Pieza Metálica Afectada a Causa de la Corrosión por Agrietamiento	42
Figura 2.26. Pieza Metálica Afectada a Causa de la Corrosión por Picadura	44
Figura 2.27. Tipos de Corrosión por Exfoliación en Cupones de Corrosión	45
Figura 2.28. Pieza Metálica Afectada por Corrosión Inter - Granular	46
Figura 3.1. Esquema de Protección Catódica con Ánodos de Sacrificio	48
Figura 3.2. Distribución Perimetral con Ánodos Galvánicos	49
Figura 3.3. Conexión Típica Entre Tanque Y Ánodos	50
Figura 3.4. Esquema de Protección Catódica por Corrientes Impresas	51
Figura 3.5. Esquema de Protección Catódica con Malla de Titanio	52
Figura 3.6. Conexión Tanque-Malla-Rectificador para Mallas de Titanio	53
Figura 3.7. Esquema de Protección Catódica por Anillos Concéntricos	54
Figura 3.8. Conexión Tanque-Ánodo-Rectificador Para Ánodos Perimetrales	55
Figura 3.9. Esquema de Instalación de Ánodos Profundos	56
Figura 3.10. Ánodos de Grafito	57
Figura 3.11. Ánodos de Hierro Fundido con Alto Grado de Silicio	58
Figura 3.12. Ánodos de Mezcla de Óxidos Metálicos	59
Figura 3.13. Ánodos De Platino.....	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Propiedades de Líquidos de Almacenamiento.....	18
Tabla 2.2. Grado De Corrosividad Según la Resistividad del Suelo	32
Tabla 2.3. Grado De Corrosividad en Función del Potencial de Hidrogeno..	33
Tabla 3.1.Composición Química De Los Ánodos De Grafito..	57
Tabla 3.2. Composición Química de Ánodos de Grafito.	58
Tabla 3.3. Composición Química De Ánodos De Platino	60
Tabla 4.1. Descripción de los Tanques	62

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Diseño general del sistema de protección catódica.....	99
Anexo 2: Sistema de protección catódica (Tanques Diesel).....	100
Anexo 3: Sistema de protección catódica (Tanques Diesel).....	101
Anexo 4: Sistema de protección catódica (Tanques Extra).....	102
Anexo 5: Sistema de protección catódica (Tanques Extra).....	103
Anexo 6: Sistema de protección catódica (Tanques Super)	104
Anexo 7: Sistema de protección catódica (Tanques Super).....	105
Anexo 8: Sistema de protección catódica (Tanques Slop)	106
Anexo 9: Caja de conexionado del Sistema de protección catódica (Tanque Diésel).....	107
Anexo 10: Caja de conexionado del Sistema de protección catódica (Tanque Diésel)	108
Anexo 11: Rectificador del Sistema de protección catódica (Tanque Diésel).....	109
Anexo 12: Rectificador del Sistema de protección catódica (Tanque Diésel)	110
Anexo 13: Rectificador del Sistema de protección catódica	111
Anexo 14: Rectificador del Sistema de protección catódica.....	112
Anexo 15: Diagrama de conexionado.....	113

RESUMEN

Los tanques de almacenamiento juegan un rol muy importante en la industria hidrocarburífera ya que constituyen depósitos donde se almacena petróleo o combustibles derivados del petróleo, como paso previo a su transporte y comercialización.

Debido a esto, se deben tomar precauciones contra la corrosión, que es el proceso mediante el cual, los metales regresan a su estado natural (como óxidos) por la acción del medio donde se encuentran. Para que el proceso de corrosión ocurra se necesitan varios elementos, un ánodo que es la zona que sufrirá corrosión, un cátodo que es el sitio al cual, llega la corriente proveniente del suelo y que también se protege de la corrosión y un medio corrosivo que es el sitio donde se encuentra la estructura, también conocido como electrolito. Finalmente una corriente eléctrica y un conductor eléctrico que generalmente es la estructura.

Existen diferentes tipos de corrosión, en ésta clasificación podemos mencionar la corrosión uniforme, galvánica, localizada, y una sub-clasificación de ésta: (pitting) o picadura y (crevice) grietas o de espacios confinados. Otros tipos son la corrosión galvánica, corrosión por flujo, corrosión por erosión, corrosión inter granular y corrosión por altas temperaturas.

En el diseño del sistema de protección catódica para tanques de almacenamiento, ya sea este por ánodos de sacrificio o sistema de corriente impresa, hay que tomar en cuenta que deben cumplir con las normas de NACE, API, ASTM y AGA, para el correcto funcionamiento de los sistemas.

En el nuevo terminal de productos limpios de Riobamba se consideró que la mejor opción era implementar la protección catódica por medio de una malla/cinta de ánodos de titanio con recubrimiento de óxidos.

ABSTRACT

Storage tanks are very important in oil industry because they represent a reservoir to store oil and fuels as a previous stage of transportation and marketing.

For that reason it is important to take cautions of corrosión, that is the process when metals return to their natural form (as oxids).

It is necessary some elements for corrosión process such us: an anode, that is the zone where corrosión acts, a catode that is where the current from soil comes and a corrosive environment that is the place where the structure is located (also known as electrolyte). Finally an electric current and electric cable that is generally the structure.

Corrosion comes in many different forms: General Attack Corrosion, Localized Corrosion (Pitting, Crevice corrosión, Filiform corrosión), Galvanic Corrosion:

Environmental Cracking, Flow-Assisted Corrosion (FAC), Erosion-assisted corrosión, Intergranular corrosión, De-Alloying, Fretting corrosión, High-Temperature Corrosion.

In the design of cathodic protection systems for storage tanks, whether it is by sacrificial anodes or impressed current system, it is important to take into account the standards of NACE, API, ASTM and AGA, for proper operation systems.

In the new terminal of clean products located in Riobamba, it was considered that the best option was to implement cathodic protection through a mesh / ribbon titanium anodes coated oxides.

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

La vida útil de los equipos en la industria petrolera se acorta a menudo como resultado directo de la corrosión, por tal motivo en los últimos años se han tenido grandes adelantos en su detección y en los tratamientos aplicados para controlar este fenómeno, que en la mayoría de los casos está presente inevitablemente en todas las fases de la industria del petróleo. Más aun cuando dichos equipos están en contacto directo con hidrocarburos o sus derivados pues como ya conocemos su naturaleza química es altamente corrosiva, como es el caso de los tanques de almacenamiento de productos limpios que forman parte del nuevo terminal de Riobamba operado en la actualidad por la empresa estatal EP-Petroecuador quien se encarga de todas las operaciones de comercialización de combustibles en el país.

En términos técnicos simplificados, la corrosión ha sido definida como la destrucción de un metal por reacción química o electroquímica con el medio que lo rodea, y representa la diferencia entre una operación libre de problemas, y una operación con gastos de operación muy elevados con problemas operacionales constantes.

Para efectos prácticos, es casi imposible eliminar la corrosión y el secreto efectivo de la ingeniería en este campo radica más en su control, que en su eliminación siendo necesario tomar en cuenta el fenómeno corrosivo desde el diseño de las instalaciones y no después de ponerlas en operación.

El técnico que trabaja en problemas de corrosión necesita saber dónde empezar y tener un conocimiento básico para reconocer la corrosión, cómo se produce, cómo impedir su severidad, qué herramientas son necesarias, técnicas de inspección, variables de diseño que afectan a la corrosión,

selección de materiales y la forma de interpretar y aplicar la información del problema corrosivo, así como saber dónde obtener ayuda.

Todos los metales y aleaciones son susceptibles de sufrir el fenómeno de corrosión, no habiendo material útil para todas las aplicaciones. Por ejemplo el oro, conocido por su excelente resistencia a la atmósfera, se corroe si se pone en contacto con mercurio a temperatura ambiente. Por otra parte el acero no se corroe en contacto con el mercurio, pero rápidamente se oxida expuesto a la atmósfera.

Afortunadamente existe un sin número de metales que pueden comportarse satisfactoriamente en medios específicos, por otro lado también existen métodos de control de la corrosión que reducen el problema.

Los paros de las plantas pueden ocurrir y ocurren como un resultado de la corrosión, provocando gastos directos e indirectos tanto en el aspecto económico como en el humano.

Dentro de los aspectos económicos tenemos:

- a) Reposición del equipo corroído.
- b) Coeficiente de seguridad y sobre diseño para soportar la corrosión.
- c) Mantenimiento preventivo como la aplicación de recubrimientos.
- d) Paros de producción debido a fallas por corrosión.
- e) Contaminación de productos.

- f) Pérdida de eficiencia ya que los coeficientes de seguridad, sobre diseño de equipo y productos de corrosión por ejemplo, decrecen la velocidad de transmisión de calor en intercambiadores de calor.
- g) Pérdida de productos valiosos.
- h) Daño de equipo adyacente a aquel en el cual se tuvo la falla de corrosión.

Dentro de los aspectos humanos y sociales tenemos:

- a) La seguridad, ya que fallas violentas pueden producir incendios, explosiones y liberación de productos tóxicos.
- b) Condiciones insalubres por ejemplo, contaminaciones debido a productos del equipo corroído o bien un producto de la corrosión misma.
- c) Agotamiento de los recursos naturales, tanto en metales como en combustibles usados para su manufacturera.
- d) Apariencia, ya que los materiales corroídos generalmente son desagradables a la vista.

Naturalmente, estos aspectos sociales y humanos también tienen sus aspectos económicos lo que nos permite ver claramente que hay muchas razones para controlar la corrosión de manera adecuada y continua a fin de evitar al máximo todos los problemas antes mencionados.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La conservación de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos es de gran importancia dentro de la gama de actividades que lleva a cabo la industria petrolera, lo que implica establecer un programa de atención en todos los aspectos inherentes y debido a que existen muchas formas de corrosión que pueden causar problemas, la protección contra la corrosión de los tanques se debe llevar a cabo mediante un sistema de protección que permita mitigar los efectos más comunes relacionados tanto al exterior, como al interior y fondo de un tanque. Por lo que es indispensable establecer los requisitos técnicos y documentales mínimos para la implementación, diseño, construcción, mantenimiento, inspección y pruebas que demandan los sistemas de protección catódica para tanques de almacenamiento que contengan hidrocarburos.

Comúnmente los tanques están expuestos a distintos factores que influyen directa o indirectamente en los procesos de corrosión como pueden ser:

- Contacto con el medio ambiente.
- Manejan compuestos con bajo pH (naturaleza ácida).
- Exposición a sales disueltas y compuestos electrolíticos.
- Contacto constante con agua, oxígeno, ácidos derivados del azufre.
- Exposición a suelos salinos, suelos húmedos.
- Humedad del medio.

Dichos factores tienen efecto directo en la velocidad que presenta el acero para tomar su forma original es decir en la oxidación de los tanques, los mismos que merecen ser estudiados ya que provocan de manera inevitable daños en válvulas, daños y problemas en accesorios, disminución de la vida útil y eficiencia de bombas, tuberías, e instrumentos de medición.

Por todo lo descrito anteriormente se justifica realizar un estudio de la corrosión existente y el sistema de protección catódica empleado en los tanques de almacenamiento de productos limpios del nuevo terminal de Riobamba, pues existe la gran necesidad de proteger la desintegración de las láminas que conforman las paredes de los tanques, y por sobremanera los componentes y

accesorios de los cuales están formados dichos tanques; con la finalidad de evitar los problemas antes mencionados que podrían llevar a consecuencias más graves que suelen presentarse en los tanques a causa de la corrosión, como lo es el derrame de los productos que contienen; lo que provoca accidentes operacionales, paradas por reparación y mantenimiento de los terminales, y lamentables pérdidas humanas y económicas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar un estudio descriptivo acerca de la implementación del sistema de protección catódica aplicado a la construcción y puesta en funcionamiento de los tanques de productos limpios del terminal Riobamba de acuerdo normas y estándares aplicables.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Describir el proceso de diseño, construcción de los tanques, y el tipo de producto que almacenaran.
- Estudiar los sistemas de protección catódica en tanques y las normas a ser aplicadas en la implementación de dichos sistemas.
- Desarrollar un compendio de las pruebas y cálculos para que permitan verificar la eficiencia de la protección catódica aplicada en los tanques.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan definiciones, conceptos e ideas que nos permitirán obtener un panorama claro y abordar de mejor manera los temas que se tratarán más a fondo a lo largo de este estudio.

2.1. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Los tanques de almacenamiento se usan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para su uso posterior y/o comercialización. Para el caso de la industria hidrocarburífera los tanques de almacenamiento juegan un rol muy importante ya que constituyen depósitos donde se almacena petróleo o combustibles derivados del petróleo, como paso previo a su comercialización.

- Esta etapa permite estimar volúmenes finales de comercialización.
- Caracterización y muestreo de los hidrocarburos.
- Fiscalización de volúmenes.
- Bombear los productos por oleoductos y poliductos.

Pueden fabricarse en diferentes tipos de materiales dependiendo el uso que tendrán pueden ser:

- Láminas de acero galvanizado.
- Fibra de vidrio plástico (PVC).
- Concreto.
- Ferrocemento.

- Mampostería, etc.

Los tanques de almacenamiento, se clasifican en:

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

2.1.1. TANQUES HORIZONTALES

Los Tanques Horizontales, generalmente son de volúmenes relativamente bajos debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión.

Se emplean para almacenar volúmenes pequeños de productos de diferente naturaleza química (ácidos, álcalis, combustibles, lubricantes, etc.). Estos tanques a su vez pueden ser: aéreos (aboveground storage) o subterráneos (underground storage). Para recipientes mayores, se utilizan las esferas. Los extremos de estos tanques son: semielípticos o semiesféricos, como se muestran en la Figura 2.1.



Figura 2.1. Tanques Horizontales, Proceso de Licuefacción de GLP.
Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

2.1.2. TANQUES VERTICALES

Los Tanques Cilíndricos Verticales permiten almacenar grandes cantidades volumétricas y solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas.

Se emplean para almacenar productos de diferente naturaleza química (ácidos, álcalis, hidrocarburos, efluentes industriales, etc.) y son de gran capacidad de almacenaje. Pueden ser clasificados de acuerdo al 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.

Con relación a la selección de los tanques cilíndricos, optar por una u otra forma dependerá del volumen requerido, el espacio disponible, las inversiones exigidas, etc. En las Figuras 2.2, y 2.3 se presentan algunos ejemplos de tanques verticales.



Figura 2.2. Tanque Vertical de Techo Fijo.
Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)



Figura 2.3. Tanques Verticales de Techo Flotante.
Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

2.1.3. TANQUES ESFÉRICOS

Los tanques esferoidales se construyen utilizando chapas de acero. Se sostienen mediante columnas que deben ser calculadas para soportar el peso de la esfera durante la prueba hidráulica. Al igual que en los tanques horizontales todas las soldaduras deben ser radiografiadas para descartar fisuras internas que se pudieran haber producido durante el montaje. Se usan para almacenar líquidos bajo cierta presión como fertilizantes, gas licuado natural en estado líquido o criogénico, nitrógeno líquido, etc.

Cuentan con una escalera para acceder a la parte superior con el fin de dar mantenimiento a las válvulas de seguridad, aparatos de telemedición, etc. Un ejemplo de tanques esferoidales se encuentra en la Figura 2.4.



Figura 2.4. Tanques Esféricos para Almacenamiento de GLP.
Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

2.2. CONSIDERACIONES DE LOS LÍQUIDOS A ALMACENARSE

Los líquidos, al igual que los sólidos, tienen volumen constante. En los líquidos las partículas están unidas por fuerzas de atracción menores que en los sólidos; por esta razón las partículas de un líquido pueden trasladarse con libertad. El número de partículas por unidad de volumen es muy alto, por ello son muy frecuentes las colisiones y fricciones entre ellas.

En los líquidos el movimiento es desordenado, pero existen asociaciones de varias partículas que, como si fueran una, se mueven al unísono. Al aumentar la temperatura aumenta la movilidad de las partículas (su energía).

Los líquidos no tienen forma fija y adoptan la forma del recipiente que los contiene. Poseen las siguientes propiedades:

- Compresión y Expansión.
- Difusión.
- Forma y Volumen.
- Viscosidad.

- Densidad.
- Peso Específico.
- Gravedad Específica.

2.2.1. COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN

A los líquidos se les considera incompresibles debido a que dentro de ellos existen fuerzas extremas de atracción entre sus moléculas. Por otra parte cuando a un líquido se le aplica una presión, su volumen no se ve afectado en gran cantidad, ya que sus moléculas tienen poco espacio entre sí. Si se aplica un cambio de temperatura su volumen no sufrirá cambios considerables.

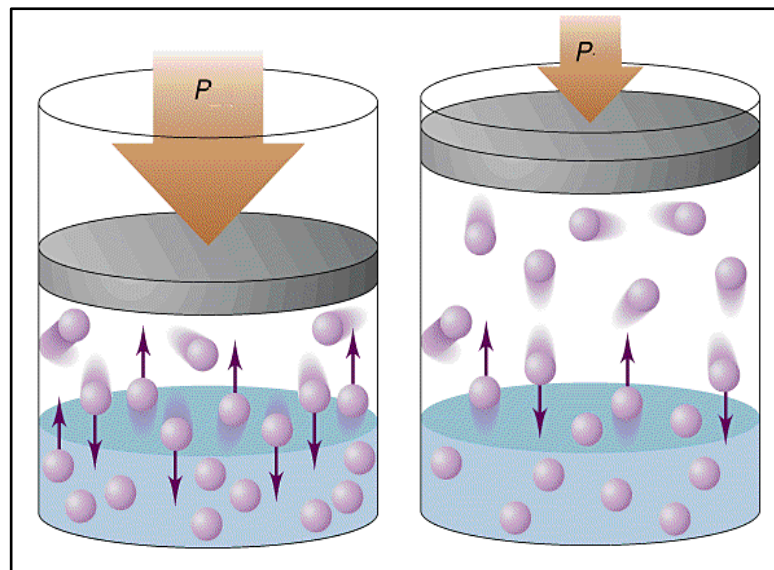


Figura 2.5. Efectos de la Presión Sobre el Volumen de Líquidos y Gases.

Fuente. (Serway R., 2012)

Las moléculas de un líquido están en continuo movimiento lo cual es por causa de la temperatura, lo cual inclina al líquido a aumentar la distancia de sus moléculas; a pesar de esto las fuerzas de atracción que existen en el líquido se oponen a ese distanciamiento de sus moléculas.

2.2.2. DIFUSIÓN

Al realizar la mezcla de dos líquidos, las moléculas de uno de ellos se difunden en las del otro a menor velocidad que en los gases. Si se desea ver la difusión de dos líquidos, se puede dejar caer una pequeña cantidad de tinta china en un poco de agua. Debido a que las moléculas en ambos líquidos están muy cerca, cada molécula choca muchas veces antes de alejarse, puede decirse que millones de veces. La distancia promedio que se genera en los choques se llama trayectoria libre media y, en los gases es más grande que en los líquidos, porque las moléculas están bastante separadas. A pesar esto hay constantes interrupciones en sus trayectorias moleculares, por lo que los líquidos se difunden mucho más lentamente que los gases.

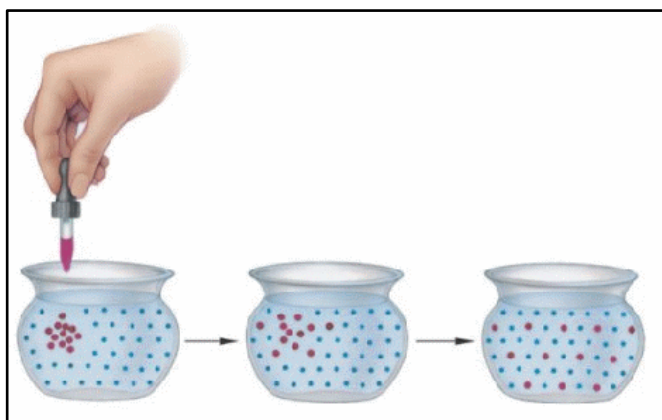


Figura 2.6. Fenómenos de Difusión de un Líquido en Otro.
Fuente. (Serway R., 2012)

2.2.3. FORMA Y VOLUMEN

En un líquido, las fuerzas de atracción son suficientemente agudas para limitar a las moléculas en su movimiento dentro de un volumen definido. A pesar de esto las moléculas no pueden guardar un estado fijo, es decir, las moléculas del líquido no permanecen en una sola posición. Las moléculas, dentro de los límites del volumen del líquido, tienen la libertad de moverse unas alrededor de otras; a causa de esto, permiten que el líquido fluya. Los

líquidos poseen un volumen definido, pero debido a su capacidad para fluir, su forma depende del contorno del recipiente que los contiene.

2.2.4. VISCOSIDAD

Algunos líquidos fluyen lentamente, mientras que otros fluyen con facilidad; la resistencia a fluir se conoce con el nombre de viscosidad. Si existe una mayor viscosidad, el líquido fluye más lentamente. Los líquidos como el aceite de los motores son relativamente viscosos; el agua y los líquidos orgánicos como el tetracloruro de carbono, no lo son. La viscosidad puede medirse tomando en cuenta el tiempo que transcurre cuando cierta cantidad de un líquido fluye a través de un delgado tubo, bajo la fuerza de la gravedad.

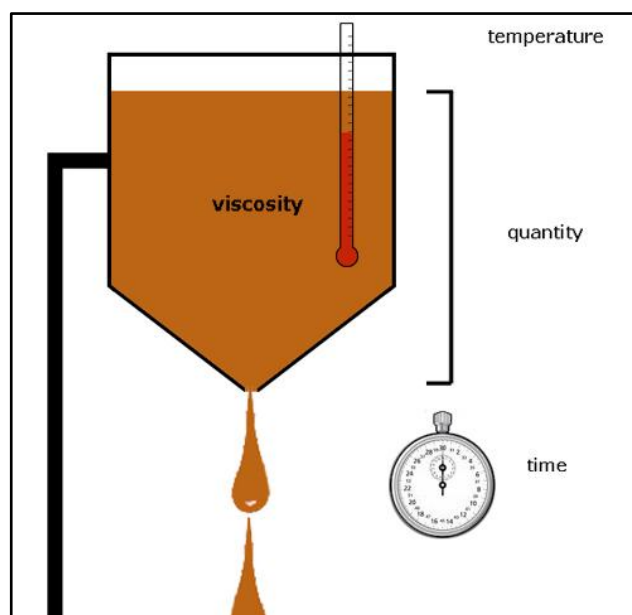


Figura 2.7. Medición de la Viscosidad de un Líquido.
Fuente. (Mott R., 2006)

2.2.5. DENSIDAD

La densidad es la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia.

Por consiguiente, utilizando la letra griega ρ para la densidad, se tiene:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [2.1.]$$

Donde:

ρ : Densidad de una sustancia, Kg/m³.

m: Masa de la sustancia, Kg.

V: Volumen de la sustancia, m³.

Las unidades de densidad son kilogramos por metro cúbico en el Sistema Internacional (SI) y slugs por pie cúbico en el Sistema Británico de Unidades.



Figura 2.8. Medición de la Densidad de un Líquido.

Fuente. (Velarde S., 2014)

La Sociedad Norteamericana para Pruebas y Materiales ASTM (American Society for Testing and Materials) ha publicado varios métodos estándar de prueba para medir densidad, que describen recipientes cuya capacidad se conoce exactamente, llamados picnómetros. En estas normas se determina la forma apropiada de llenar, manejar, controlar la temperatura y hacer lecturas en estos dispositivos.

2.2.6. PESO ESPECÍFICO

El peso específico es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia. Utilizando la letra griega gamma para denotar el peso específico. Se tiene:

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad [2.2]$$

Donde:

γ : Peso específico de un sustancia, N/m³.

W: Peso de la sustancia, N.

V: Volumen de la sustancia, m³.

Las unidades del peso específico son Newtons por metro cúbico (N/m³) en el SI y libras por pie cúbico (lb/pie³) en el Sistema Británico de Unidades.

2.2.7. GRAVEDAD ESPECÍFICA

La gravedad específica es el cociente de la densidad de una sustancia entre la densidad del agua a 4°C, o es el cociente del peso específico de una sustancia entre el peso específico del agua a 4°C.

Estas definiciones de la gravedad específica se pueden expresar de manera matemática como:

$$sg = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad [2.3]$$

Donde:

γ_s : Peso específico de un sustancia, N/m³.

γ_w : Peso específico del agua, N/m³.

ρ_s : Densidad de un sustancia, Kg/m³.

ρ_w : Densidad del agua, Kg/m³.

sg : Gravedad específica de una sustancia.

En la Tabla 2.1 se detallan las propiedades de densidad y peso específico para algunos líquidos de almacenamiento a presión atmosférica con un rango de temperatura 16°C a 21°C.

Tabla 2.1. Propiedades de Líquidos de Almacenamiento.

Líquido	Densidad [Kg/m ³]	Peso Específico [N/m ³]
Alcohol Etilico	789	7744
Benceno	902	8828
Tetracloruro de Carbono	1593	15629
Gasolina	680	6660
Glicerina	1258	12346
Queroseno	809	7933
Aceite SAE 30	917	9016
Agua	1000	9790

Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

2.3. NORMA API 650

Esta norma fue emitida por el American Petroleum Institute, y establece las especificaciones para la construcción y diseño de tanques utilizados en los servicios de almacenamiento.

2.3.1. NOTAS ESPECIALES DE LA NORMA

Los códigos API son establecidos para tratar problemas de naturaleza general, estos códigos son revisados y modificados al menos cada 5 años, la intención de este código es servir como una especificación de compra diseño y construcción de tanques de almacenamiento.

El código Api 650 está basado en el conocimiento y la experiencia acumulada de fabricantes y usuarios de tanques de almacenamiento de petróleo soldados, de varios tamaños y capacidades, con una presión manométrica interna que no exceda de 2,5 psi.

2.3.2 ALCANCE DE LA NORMA

Esta norma cubre especificaciones y requerimientos para materiales, diseño, fabricación, montaje, y pruebas para tanques cilíndricos verticales no enterrados cerrados y de extremo superior abierto, en varios tamaños, y capacidades de presión interna aproximadamente igual a la presión atmosférica.

Estas, normativas han sido elaboradas para construir tanques con adecuada seguridad y costos razonables para usarlos en el almacenamiento de petróleo y sus derivados, y otros productos líquidos comúnmente manipulados en las distintas ramas de la industria.

Esta norma no presenta ni está destinada a establecer una serie fija de tamaños de tanque admisibles, más bien está orientado a permitir al comprador la selección de cualquier medida de tanque que pueda ser requerido para la mejor satisfacción de sus necesidades.

2.3.3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Como paso previo a la construcción de un tanque de almacenamiento se debe tener en consideración las cargas que actuarán durante toda la vida útil del mismo, a fin de que el diseño planteado soporte sin problema dichas cargas; de acuerdo con esta norma las cargas que actúan sobre un tanque y que deben ser tomadas en cuenta son las siguientes:

- Carga muerta.
- Peso del líquido almacenado.
- Prueba hidrostática.
- Carga viva mínima del techo.
- Nieve.
- Viento.
- Presión interna del tanque.
- Presión externa del tanque.
- Cargas sísmicas.

Seguidamente durante el diseño de un tanque se debe considerar los siguientes factores que son los que juegan un papel muy importante durante esta etapa:

- Cargas externas.
- Diseño del fondo del tanque.
- Diseño del cuerpo del tanque.
- Diseño del techo del tanque.
- Medidas de protección contra la corrosión y descargas eléctricas.
- Presiones externas que soportara el tanque.
- Capacidad del tanque.
- Consideraciones de servicio.
- Dureza de soldaduras.
- Tolerancia a la corrosión.
- Bases y soportes del tanque.
- Cubetos para contención de derrames.

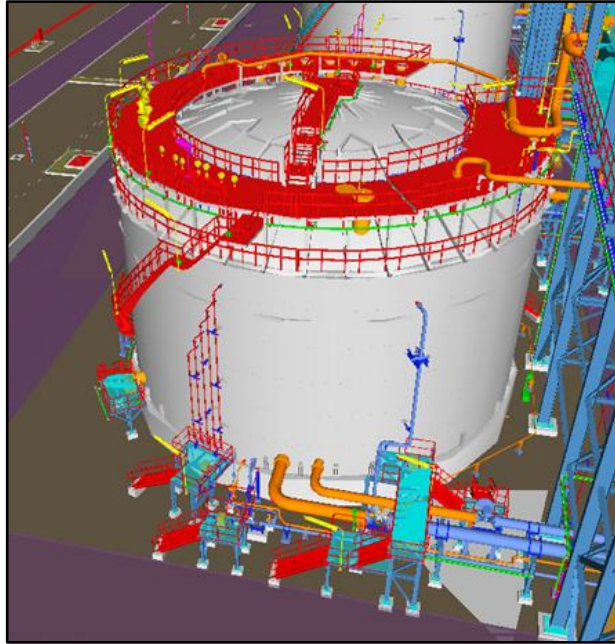


Figura 2.9. Diseño Preliminar de un Tanque Mediante Herramientas Computacionales, (Análisis Estructural y de Cargas)
Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

2.3.4. ASPECTOS GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO

A continuación se describen los pasos principales para la construcción y puesta en funcionamiento de los tanques de almacenamiento de combustible.

2.3.4.1. Biselado de las Planchas para el Tanque de Almacenamiento

El primer paso antes de realizar el corte a las dimensiones requeridas en el diseño, es identificar cada plancha, la cual debe ser marcada para su respectivo registro, esto permite saber a qué número de anillo pertenece y que posición le corresponde a la plancha en el anillo en caso de que se fabriquen varios tanques.

Para realizar el corte y biselado se utiliza un sistema de corte semiautomático, donde se procede a fijar las medidas y el ángulo de

biselado de acuerdo al procedimiento de soldadura establecido, se utiliza oxígeno y acetileno.



Figura 2.10. Construcción de un Tanque de Almacenamiento.
Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

Completado el proceso, la plancha cortada y biselada a la medida se coloca boca abajo en un área para realizar el pulimiento de filos, se confirman las dimensiones requeridas y estas continúan con la siguiente etapa del proceso de fabricación del tanque.

2.3.4.2 Soldadura del Tanque de Almacenamiento

Las normas establecen que antes de iniciar cualquier soldadura de los tanques el personal debe estar debidamente calificado, y regirse bajo los términos especificados de la norma, ya sea que se trata de procedimientos calificados, precalificados o estándar, de los cuales depende la vida útil del tanque de almacenamiento.

La información requerida acerca de las variables para el procedimiento de soldadura que debe incluirse difiere de una norma a otra, y también varía la forma en que cada norma clasifica a estas variables, pero independientemente de las diferencias existentes, las variables de soldadura pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Uniones o juntas.
- Metales base.
- Metales y electrodos.
- Precalentamiento y temperatura entre pasos.
- Tratamiento térmico - posterior a la soldadura.
- Gases de combustión y de protección.
- Características eléctricas.
- Técnica.



Figura 2.11. Procedimiento de Soldadura de un Tanque de Almacenamiento.

Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

2.3.4.3 Montaje del Tanque de Almacenamiento

Los accesorios de montaje son aquellas herramientas necesarias para armar el tanque de una manera rápida y eficiente, los accesorios que la norma recomienda se empleen para llevar a cabo dicha actividad son:

- Matriz para el fondo.
- Guías.
- Espaciador.
- Cuñas.
- Punzones.
- Andamios.



Figura 2.12. Procedimiento de Montaje de un Tanque de Almacenamiento.
Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

2.1.4.4 Pruebas Hidrostáticas

Esta prueba se realiza con el fin de verificar que los asentamientos del tanque que se presentarán producto de almacenar fluidos en los tanques, no vayan a deformar, colapsar o tensionar el fondo del mismo o que conexiones de tuberías se verán afectadas para finalmente constatar que existe hermeticidad en todas las juntas tanto de fondo como del casco y accesorios.

2.4. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE CORROSIÓN

Previo a realizar un estudio sobre el sistema de protección catódica en el terminal de Almacenamiento de Productos Limpios de Riobamba, también es necesario efectuar una revisión técnica de los conceptos básicos relacionados con la corrosión y los métodos de control que se usan frecuentemente en la industria petrolera.

2.4.1. CORROSIÓN

Es un proceso espontáneo que desarrollan los metales, en contacto con el medio ambiente, para regresar a su estado natural, rompiendo los esquemas

del procesamiento, en fiel cumplimiento a las leyes de la naturaleza y sin escatimar los altos costos que ello demande.

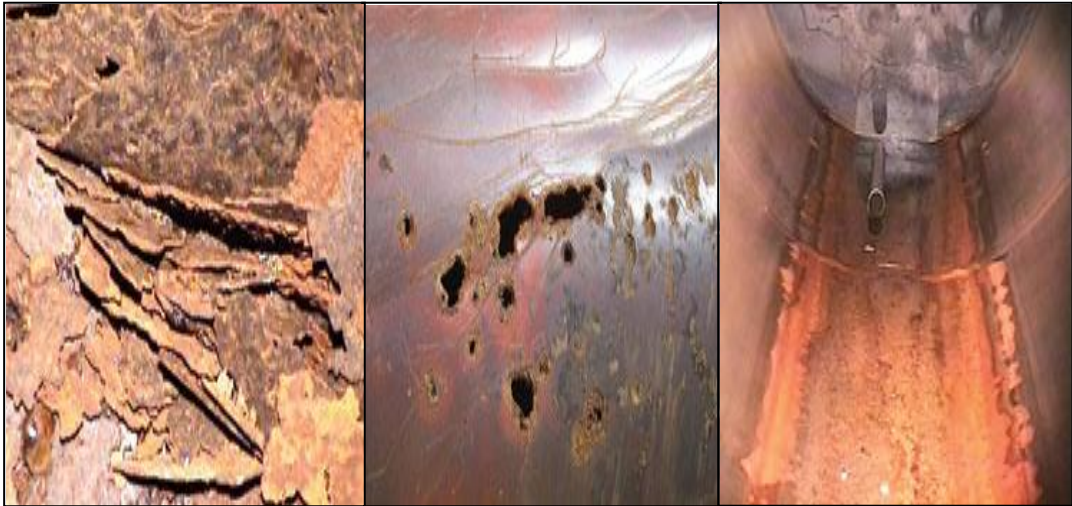


Figura 2.13. Efectos de la Corrosión en el Interior de un Tanque de Almacenamiento.

Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

La filosofía de prevenir la corrosión desde el diseño de las instalaciones y durante su tiempo de vida útil, no ha llamado la atención de los responsables de los proyectos, de los niveles gerenciales y peor aún de los inversionistas, por cuanto los costos de instalación y mantenimiento se deben presentar en los cuadros financieros, clara y directamente como un gasto no reembolsable, es decir, desafortunadamente una inversión que vista irresponsablemente, no genera utilidades.

Una vez que los problemas generados por la corrosión son recurrentes, generan fallas y paras constantes en las instalaciones petroleras, y hasta ocasionan perdidas tanto humanas y económicas; llegamos a entender que aquella inversión que se debió haber realizado a tiempo, efectivamente no generaría utilidades, pero hubiera permitido mantener de manera continua las operaciones, alargar a su vez el tiempo de vida útil que el control de la corrosión le permitiera a instalaciones, y evitar los posibles accidentes que la corrosión pudo haber ocasionado.

2.4.1.1. Definición

Técnicamente se puede definir a la corrosión como una interacción entre un metal y el medio que lo rodea, en presencia de un electrolito. Cuando este fenómeno se da, las propiedades físico – químicas del metal comienzan a deteriorarse formándose en el cuerpo de la estructura metálica dos zonas plenamente identificadas; una anódica y otra catódica. En la zona anódica se producirá la disolución del metal (corrosión) y, consecuentemente en la zona catódica la inmunidad del metal.

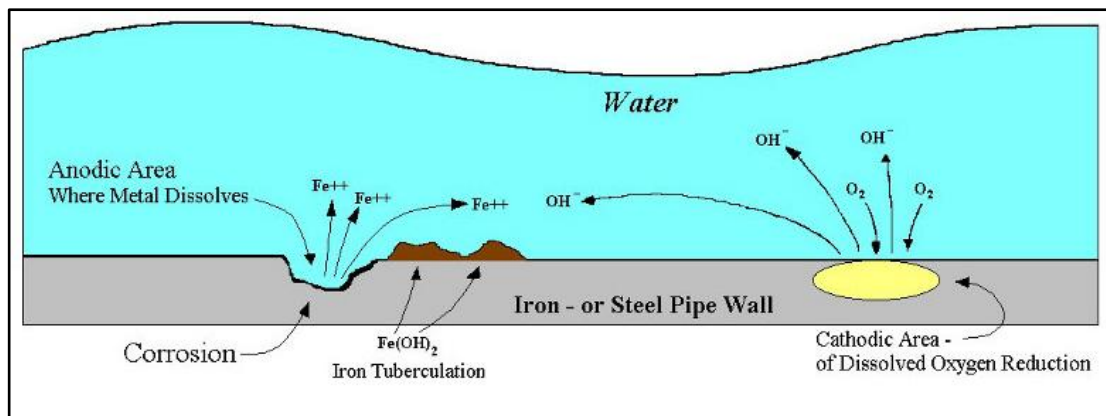


Figura 2.14. Zonas Formadas en el Cuerpo Metálico por Efecto de la Corrosión.

Fuente. (www.engineeredwater.com, 2014)

2.4.1.2. Fundamento

Siempre que la corrosión esté originada por una reacción química, la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, del potencial de hidrógeno (PH), de la salinidad del fluido y de las propiedades de los metales en cuestión.

La corrosión que habitualmente afecta a los metales en servicio, es la corrosión húmeda, un proceso electroquímico que requiere de tres condiciones para desarrollarse espontáneamente los mismos que son:

- Ánodo.
- Cátodo.

- Electrolito (solución acuosa eléctricamente conductora).

Si alguno de ellos falta la corrosión se detiene. Estos tres elementos constituyen lo que se conoce como pila galvánica ó electroquímica la corrosión se desarrolla en las zonas anódicas mientras que en las catódicas permanecen siempre inalteradas y será tanto mayor cuanto mayor sea la conductividad del electrolito; los de alta conductividad (agua salada) incrementan la corrosión en actividad y velocidad y, los de baja conductividad (agua dulce) la disminuyen.

La mayoría de los metales se encuentran en estado natural formando parte de minerales, ya sea como óxidos o como metales. El mineral común de hierro se asemeja a la “herrumbre”, este es convertido a fierro metálico mediante el empleo de energía y esa misma energía es la que se libera cuando el hierro retorna a su estado natural de herrumbre por la corrosión; es decir, que es la energía que guarda el metal en el proceso de refinación lo que hace posible el proceso de corrosión.

Este fenómeno no siempre involucra una pérdida de peso ó un deterioro visible, ya que muchas formas de corrosión se manifiestan por un cambio de las propiedades de los materiales, disminuyendo su resistencia. Tal es el caso de las aleaciones metálicas (particularmente la del acero), en las que el proceso corrosivo se debe detallar con más precisión basándose en la estructura atómica de la materia ya que su átomo está formado por un equilibrio de cargas positivas llamadas protones y de cargas negativas llamadas electrones. Los materiales tienden a perder electrones ó, dicho de otra manera, energía, formando un ión positivo que se separa del metal perdiendo masa.

2.4.1.3. Naturaleza Electroquímica de la Corrosión

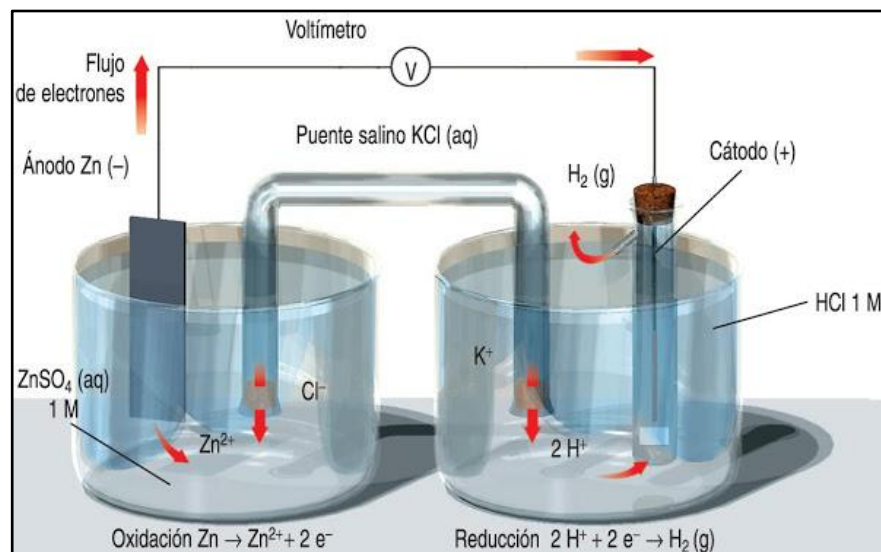


Figura 2.15. Celda Galvánica Recreada en el Laboratorio.
Fuente. (www.educastur.es, 2014)

En conjunto con la fuente de voltaje debe existir un circuito completo como se observa en la figura 2.15; este consiste en tres elementos muy importantes como son:

2.4.1.3.1. Ánodo

Es aquella porción de la superficie del metal que se está corroyendo. Es el lugar donde el metal se disuelve y pasa a la solución; al momento de ocurrir esto es porque los átomos metálicos pierden electrones y pasan a la solución como iones. Los átomos contienen la misma cantidad de protones y electrones y al ocurrir una pérdida de electrones ocurre un exceso de carga positiva lo que resulta un ión positivo.

2.4.1.3.2. Cátodo

Es la cantidad de superficie metálica que no se disuelve y es el sitio de otra reacción química necesaria para que ocurra el proceso de corrosión. Los electrones que se liberan al dividir el metal en el ánodo viajan hasta la zona

catódica en donde se consumen por la reacción de un agente oxidante presente en el agua. El consumo de electrones se llama reacción de reducción.

2.4.1.3.3. Electrólito

Para que se complete el circuito eléctrico la superficie metálica, tanto el cátodo como el ánodo, deben estar cubiertos por una solución conductora de electricidad, es decir, de electrolito. El electrolito conduce la corriente del ánodo al cátodo y luego vuelve al ánodo a través del metal, completando el circuito.

2.4.1.4. Variables Que Influyen en Los Efectos de la Corrosión

2.4.1.4.1. Composición del electrolito

Existen dos aspectos por los cuales la composición del electrolito afecta la corrosión; primero afecta la conductibilidad y segundo el potencial de corrosión básico del sistema, este último se relaciona por la presencia o no de agentes oxidantes en la solución los cuales son importantes para construir la parte catódica de la celda de corrosión.

Afortunadamente existen dos agentes oxidante en la mayoría de los problemas, ellos son el ión hidrógeno y el óxido molecular. Las medidas para combatir la corrosión dependen del sistema que participe en la celda, por lo tanto lo primero que se debe hacer es definir las reacciones catódicas que participan.

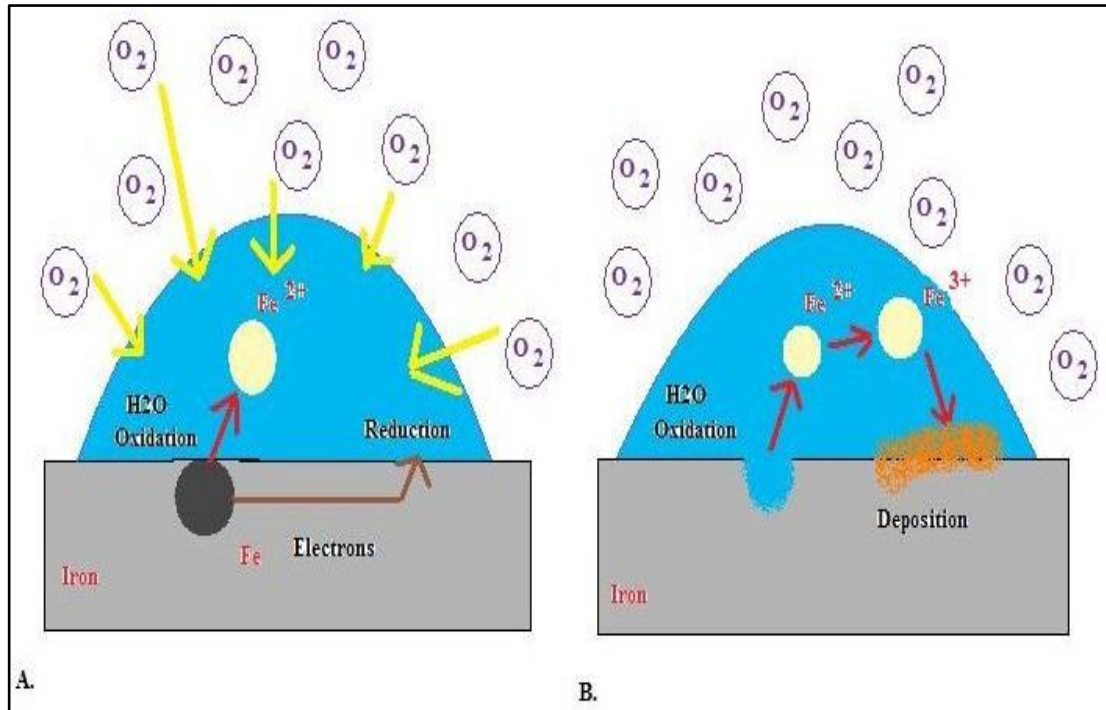


Figura 2.16. Reacción Química Común en Procesos de Corrosión Generada por Exposición al Ambiente.
Fuente. (www.educastur.es, 2014)

2.4.1.4.2. Conductividad

Como ya se ha dicho anteriormente la superficie metálica debe estar cubierta de una solución eléctricamente conductora para conducir corriente eléctrica desde el ánodo al cátodo en la celda de corrosión; entre mejor conductor sea el electrolito más fácil va a fluir la corriente y ocurrirá mayor corrosión. En el caso de electrolitos poco conductores existe una gran resistencia al flujo de corriente minimizándose la reacción de disolución. Es importante recalcar que la cantidad de metal que se disuelve es directamente proporcional a la cantidad de corriente que fluye entre el ánodo y el cátodo.

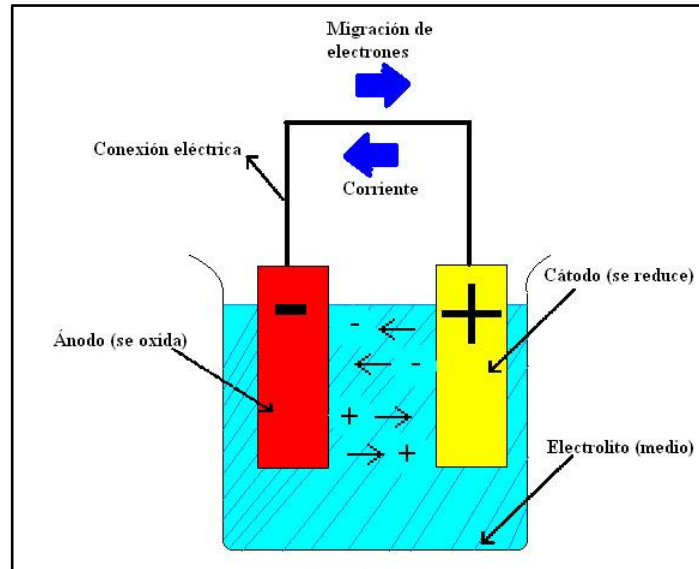


Figura 2.17. Flujo de Corriente en una Celda de Corrosión.
Fuente. (www.maintenance.com, 2014)

2.4.1.4.3. Características físicas y químicas del suelo

Por lo general las características físicas del suelo que afectan la corrosión son principalmente relacionadas con el tamaño del grano y su distribución, esto se ve reflejado en la textura superficial del suelo. Según el tamaño de gránulos se dividen a los suelos en:

- Arenosos entre 2 y 0.05 mm
- Limoso entre 0.05 y 0.002 mm
- Arcillosos menores de 0.002 mm

Mientras más pequeña sean las partículas disminuye la permeabilidad presentando además una extraordinaria absorción y retención de agua, todos estos factores tornan agresivo a un suelo.

Los suelos tienen importantes características químicas que afectan a tuberías enterradas las que incluyen; resistividad, contenido de humedad, acidez o pH y contenido de iones solubles.

La resistividad es un parámetro muy importante en la determinación de la agresividad del suelo, la corrosión y sus posibles soluciones. En la tabla 2.2 se muestra el grado de corrosividad en función de la resistividad del suelo.

Tabla 2.2. Grado De Corrosividad Según la Resistividad del Suelo

RESISTIVIDAD DEL SUELO (Ω .cm)	GRADO DE CORROSIVIDAD
0-500	Muy corrosivo
500-1000	Corrosivo
1000-2000	Moderadamente corrosivo
2000-10000	Poco corrosivo
Sobre los 10000	No corrosivo

Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

2.4.1.4.4. Potencial de Hidrogeno

La velocidad de corrosión del acero aumenta a medida que disminuye el pH (potencial de hidrógeno), éste al ser muy alto suele ser muy corrosivo. La velocidad de corrosión con el pH está influenciada por la composición del electrolito.

Al aumentar la concentración del ión hidrógeno es más ácida la solución y es menor el valor de pH. La magnitud de pH nos indica la intensidad de acidez o alcalinidad del medio. Esta magnitud se indica por medio de una escala, en ella la número 7 indica que la solución con pH es neutra, donde existe poca corrosividad; los números menores de 7 indican que es ácida y existe una gran probabilidad de ataque corrosivo por lo general son suelos con gran proporción de materia orgánica y los mayores de 7, alcalinidad donde existe una proporción moderada de corrosión generalmente en el acero y mayoría de los metales. Se ha establecido la relación entre el pH y la corrosividad los cuales se presentan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Grado De Corrosividad en Función del Potencial de Hidrogeno.

POTENCIAL DE HIDROGENO	GRADO DE CORROSIÓN
< 5.5	Muy corrosivo
5.5 - 6.5	corrosivo
6.5 - 7.5	Poco corrosivo
> 7.5	No corrosivo

Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

El potencial de hidrógeno o pH se considera como el logaritmo negativo de la concentración de hidrógeno.

$$ph = -\text{Log}(H^+) \quad [2.4]$$

Donde:

pH: Potencial de hidrogeno.

H⁺: Concentración de iones hidrogeno.

2.4.1.4.5. Concentración de Gases Disueltos

El oxígeno, dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico disuelto en agua aumentan la corrosividad de esta, por lo tanto, los gases son la principal causa de los problemas de corrosión.

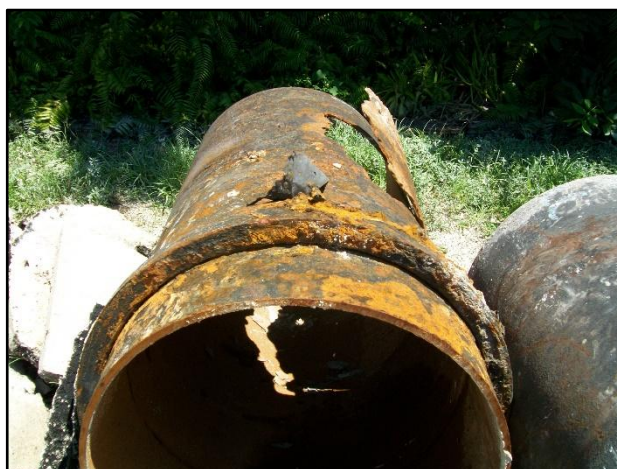


Figura 2.18. Corrosión por Efecto de Gases Disueltos.

Fuente. (www.maintenance.com, 2014)

- **Oxígeno Disuelto:**

De los gases disueltos es el peor de todos, basta con una pequeña concentración y puede producir una corrosión severa y si uno de los otros gases disueltos está presente aumenta la corrosión.

El oxígeno siempre acelera la corrosión ya que es un oxidante fuerte y se reduce rápidamente en el cátodo, lo que significa que se combina muy fácil con los electrones del cátodo, con lo cual la velocidad de corrosión estará limitada con la rapidez, con este gas se difunde desde el seno electrolito a la superficie del metal.

- **Dióxido de Carbono Disuelto**

Si el dióxido de carbono se disuelve en agua se forma ácido carbónico, disminuyendo el pH de la solución y aumentando su corrosividad. Tanto este como el oxígeno causan un picado y la corrosión causada por el dióxido de carbono se conoce como corrosión suave.

- **Ácido Sulfhídrico Disuelto**

El ácido sulfhídrico es muy soluble con agua y se comporta como un ácido débil y causa un picado. La presencia de este se conoce como una corrosión ácida. La unión de este con el dióxido de carbono es más agresiva que el ácido sulfhídrico solo y esta combinación es la que se encuentra en los pozos petrolíferos. Si en estas condiciones se presenta una pequeña cantidad de oxígeno, el resultado es desastroso.

2.4.1.4.6. Temperatura

Al igual que las reacciones químicas, la velocidad de corrosión aumenta generalmente con la temperatura; la velocidad se duplica por cada diez grados centígrados que aumenta la temperatura. Una excepción de esto podría ser en un sistema abierto a la atmósfera la velocidad de corrosión inicial aumenta disminuyendo posteriormente si la temperatura se aumenta.

2.4.1.4.7. Presión

La presión afecta la velocidad de las reacciones químicas en la que participan gases y por consiguiente las reacciones de corrosión no son una excepción.

2.4.2. CLASIFICACIÓN O FORMAS DE CORROSIÓN

Es conveniente clasificar la corrosión por las formas en que se manifiesta, o sea en base a la apariencia que toma el material corroído. Cada forma puede ser identificada por simple observación visual, a veces a simple vista y otras requieren un estudio más detallado.

2.4.2.1. Formas de Corrosión Según la Naturaleza del Ambiente

2.4.2.1.1. Corrosión Húmeda

El proceso de corrosión es la interacción de un metal con el medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro tanto de sus propiedades físicas como químicas. La característica fundamental de este fenómeno es que solo ocurre en presencia de un electrolito, generando zonas plenamente identificadas denominadas éstas, anódicas y catódicas. Una reacción de oxidación es una reacción anódica en la cual los electrones son liberados dirigiéndose hacia las zonas catódicas. En la zona anódica ocurrirá la disolución del metal mientras que en la zona catódica, su inmunidad.

La velocidad a la que un material se corroe es lenta y avanza de acuerdo al ambiente donde se encuentre. Este fenómeno que es analizado desde el punto de vista termodinámico – electroquímico indica que el material tiende a regresar a su estado primitivo ó de mínima energía.

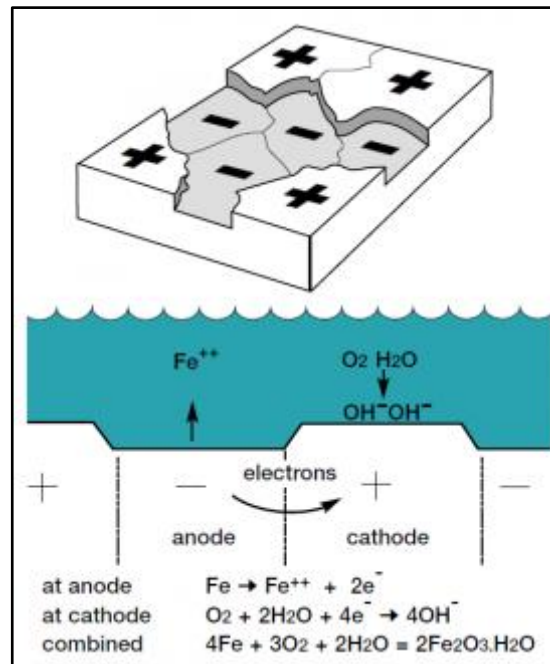


Figura 2.19. Acción Electroquímica En Una Superficie Metálica Mojada.
Fuente. (www.steelconstruction.info, 2014)

2.4.2.1.2 Corrosión Seca

Cuando un metal trabaja a temperatura elevada se genera una reacción química directa entre el metal y un gas agresivo que normalmente es oxígeno, dando como resultado la formación de óxidos. La tendencia de un metal a reaccionar con el oxígeno viene indicada por el cambio de energía libre que acompaña a la formación de su óxido, entonces, la oxidación será posible desde el punto de vista termodinámico, si viene acompañada por una disminución de energía libre. Por el contrario, si la energía libre de formación del óxido es positiva, el metal no se oxidará.

La mayoría de los metales presentan una energía libre de formación de sus óxidos negativa, de ahí que puedan reaccionar con el oxígeno y presentarse

como óxidos en la naturaleza y la mayoría de ellos se oxidan más o menos fácilmente cuando se exponen al aire.

Se diferencia de la corrosión electroquímica por los aspectos siguientes:

- No requiere de un electrólito
- El ataque suele ser generalizado, no puntual.
- El producto de la corrosión es un óxido y no un hidróxido.
- La circulación de iones y de electrones se realiza a través de la capa de óxido formada.

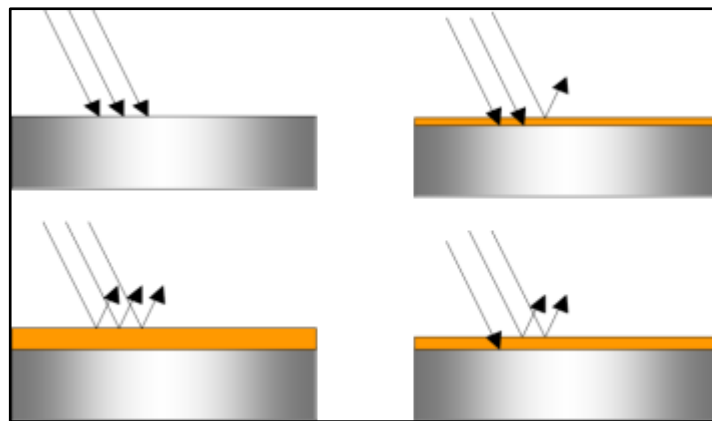


Figura 2.20. Corrosión Seca Cuando el Oxígeno Reacciona con el Metal.

Fuente. (www.steelconstruction.info, 2014)

2.4.2.2. Formas de Corrosión Según la Apariencia del Metal Corroído

La corrosión puede ser uniforme, entonces el metal se corroerá a la misma velocidad en toda su superficie, o bien, puede ser localizada, en cuyo caso solamente resultan afectadas áreas pequeñas.

La clasificación por apariencia, uniforme o localizada, es muy útil para una discusión preliminar que en caso de requerirse en forma más completa, necesita del establecimiento de las diferencias entre la corrosión localizada de tipo macroscópico y el ataque microscópico local.

2.4.2.2.1. Corrosión Generalizada

Este tipo de corrosión actúa en forma uniforme en toda la superficie del material, y se debe al debilitamiento uniforme del film de pasivación (óxido de cromo) sobre toda la superficie del acero. Generalmente ocurre a causa de la mala selección del tipo de acero inoxidable. Esta corrosión produce el adelgazamiento uniforme producto de la pérdida regular del metal superficial. Para aumentar la resistencia a este tipo de corrosión es sugerido elevar los tenores de Cr (Cromo), Ni (Níquel) y Mo (Molibdeno).



Figura 2.21. Corrosión Generalizada en el Metal.
Fuente. (www.steelconstruction.info, 2014)

2.4.2.2.2. Corrosión Localizada

Se caracteriza por un ataque localizado en un área limitada, presentando una importante perforación, mientras que las regiones vecinas permanecen intactas. Los casos más frecuentes de este tipo de corrosión se producen en piezas metálicas inmersas en agua de mar. Las adiciones de Cr, Mo y N aumentan la resistencia a la corrosión.



Figura 2.22. Corrosión Generalizada en el Metal.
Fuente. (www.steelconstruction.info, 2014)

2.4.2.2.3. Corrosión Galvánica Uniforme

El ataque uniforme sobre grandes áreas de una superficie metálica es la forma más común de la corrosión y puede ser húmeda o seca, electroquímica o química, siendo necesario seleccionar los materiales de construcción y los métodos de protección como pintura, para controlarla. Por otra parte, la corrosión uniforme es la forma más fácil de medir, por lo que las fallas inesperadas pueden ser evitadas simplemente por inspección regular.

La corrosión galvánica se presenta, cuando dos metales diferentes en contacto o conectados por medio de un conductor eléctrico, son expuestos a una solución conductora. En este caso, existe una diferencia en potencial eléctrico entre los metales diferentes y sirve como fuerza directriz para el paso de la corriente eléctrica a través del agente corrosivo, de tal forma que el flujo de corriente corroe uno de los metales del par formado.

Mientras más grande es la diferencia de potencial entre los metales, mayor es la probabilidad de que se presente la corrosión galvánica debiéndose

notar que este tipo de corrosión sólo causa deterioro en uno de los metales, mientras que el otro metal del par casi no sufre daño.



Figura 2.23. Corrosión Galvánica en Piezas Metálicas.
Fuente. (www.steelconstruction.info, 2014)

El metal que se corroe recibe el nombre de metal activo, mientras que el que no sufre daño se le denomina metal más noble. La relación de áreas entre los dos metales es muy importante, ya que un área muy grande de metal noble comparada con el metal activo, acelerará la corrosión, y por el contrario, una mayor área del metal activo comparada con el metal noble disminuye el ataque del primero.

La corrosión galvánica a menudo puede ser reconocida por el incremento del ataque junto a la unión de los metales y este tipo puede ser controlado por el uso de aislamientos o restringiendo el uso de uniones de metales cuando ellos forman diferencias de potencial muy grande en el medio ambiente en el que se encuentran. La diferencia de potencial puede ser medida, utilizando como referencia la serie galvánica de los metales y aleaciones que se presentan más adelante, en la serie de los potenciales tipo (estándar) de óxido de reducción.

2.4.2.2.4. Corrosión por Erosión

Cuando el movimiento del medio corrosivo sobre la superficie metálica incrementa la velocidad de ataque debido a desgaste mecánico, este recibe

el nombre de corrosión por erosión. La importancia relativa del desgaste mecánico y la corrosión, es a menudo difícil de establecer y varía grandemente de una situación a otra, y el mecanismo de la erosión generalmente se atribuye a la remoción de películas superficiales protectoras, como por ejemplo, películas de óxido formadas por el aire, o bien, productos adherentes de la corrosión.

La corrosión por erosión, generalmente tiene la apariencia de picaduras poco profundas de fondo terso, y el ataque puede presentar también una distribución direccional debido al camino seguido por el agente agresivo cuando se mueve sobre la superficie del metal. En condiciones de alta velocidad, turbulencia, choque, etc., y frecuentemente se observa en impulsores de bombas, agitadores y en codos y cambios de dirección de tuberías. Los líquidos con suspensión conteniendo partículas sólidas duras pueden igualmente causar este tipo de problema; que puede ser evitada por cambios de diseño o por selección de materiales más resistentes.



Figura 2.24. Pieza Metálica Afectada a Causa de la Corrosión por Erosión.
Fuente. (www.cdcorrosion.com, 2014)

La corrosión por cavitación y desgaste (fretting) son formas especiales de la corrosión por erosión. La primera es causada por la formación y colapso de burbujas de vapor en la superficie del metal. Las altas presiones producidas por este colapso pueden disolver el metal, remover las partículas protectoras, etc. La corrosión por desgaste (fretting) ocurre cuando las

piezas de metal se deslizan una sobre la otra, causando daño mecánico a una o ambas piezas y el deslizamiento es generalmente un resultado de la vibración.

2.4.2.2.5. Corrosión por Agrietamiento

Las condiciones ambientales en una grieta, pueden con el tiempo volverse muy diferentes de las existentes en una superficie limpia y abierta, por lo que un medio ambiente muy agresivo puede desarrollar y causar corrosión en las grietas.

Las grietas o hendiduras generalmente se encuentran en los empaques, traslapes, tornillos, remaches, etc., y también pueden formarse por depósitos de suciedad, productos de la corrosión y raspaduras en las películas de recubrimiento. La corrosión por agrietamiento, generalmente se atribuye a los siguientes factores:

- Cambios de acidez en la grieta o hendidura.
- Escasez de oxígeno en la grieta.
- Desarrollo de iones diferentes en la hendidura.
- Agotamiento de Inhibidor en la grieta.



Figura 2.25. Pieza Metálica Afectada a Causa de la Corrosión por Agrietamiento.

Fuente. (www.cdcorrosion.com, 2014)

Al igual que todas las formas de corrosión localizada, la corrosión por agrietamiento no ocurre en todas las combinaciones metal-agente corrosivo, y algunos materiales son más susceptibles para producirla que otros, como por ejemplo aquellos que dependen de las películas protectoras de óxido formadas por el aire para adquirir su resistencia a la corrosión, tal y como sucede con el acero inoxidable y el titanio. Estos materiales pueden ser aleados para mejorar su resistencia y el diseño deberá hacerse de tal manera, que se reduzcan las hendiduras, tratando de mantener las superficies limpias para combatir este tipo de corrosión.

2.4.2.2.6. Corrosión por Picadura

La corrosión por picadura se presenta por la formación de orificios en una superficie relativamente intocada y las picaduras pueden tener varias formas.

La forma de una picadura es a menudo responsable de su propio avance, por las mismas razones mencionadas en la corrosión por agrietamiento, es decir, una picadura puede ser considerada como una grieta o hendidura formada por sí misma.

Para reducir la corrosión por picadura se necesita una superficie limpia y homogénea, por ejemplo, un metal homogéneo y puro con una superficie muy pulida deberá ser generalmente, mucho más resistente que una superficie que tenga incrustaciones, defectos o rugosidad.

La corrosión por picadura es un proceso lento que puede llevar meses y años antes de ser visible, pero que naturalmente, causará fallas inesperadas pequeño tamaño de la picadura y las minúsculas cantidades de metal que se disuelven al formarla, hacen que la detección de ésta sea muy difícil en las etapas iniciales.



Figura 2.26. Pieza Metálica Afectada a Causa de la Corrosión por Picadura.

Fuente. (www.cdcorrosion.com, 2014)

La limpieza de la superficie y la selección de materiales conocidos, resistentes a la formación de picaduras en un medio ambiente determinado, es generalmente el camino más seguro para evitar este tipo de corrosión.

2.4.2.2.7. Corrosión por Exfoliación y Disolución Selectiva

La corrosión por exfoliación es una corrosión sub-superficial que comienza sobre una superficie limpia, pero se esparce debajo de ella y difiere de la corrosión por picadura en que el ataque tiene una apariencia laminar.

Capas completas de material son corroídas y el ataque es generalmente reconocido por el aspecto escamoso y en ocasiones ampollado de la superficie.

Al final del ataque, una muestra tiene la apariencia de un mazo de barajas en el cual algunas de las cartas han sido extraídas. Este mecanismo es bien conocido en las aleaciones de aluminio y se combate utilizando aleaciones y tratamientos térmicos.

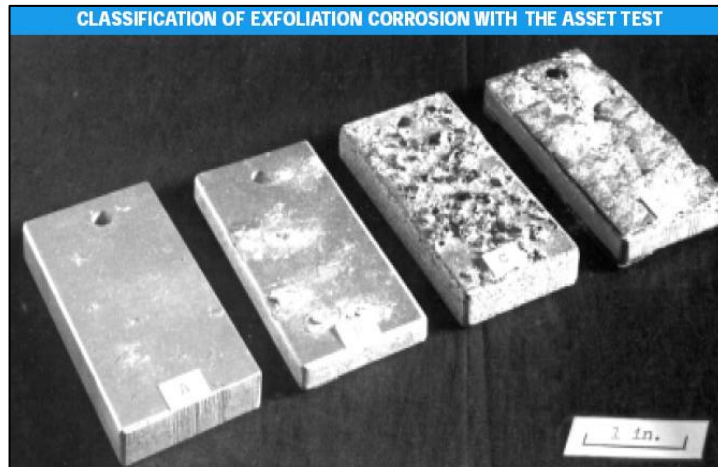


Figura 2.27. Tipos de Corrosión por Exfoliación en Cupones de Corrosión.
Fuente. (www.cdcorrosion.com, 2014)

La corrosión por disolución selectiva se produce al efectuarse la remoción de uno de los elementos de una aleación siendo el ejemplo más común la eliminación del zinc en aleaciones de cobre-zinc, conocido con el nombre de de zincificación. Este fenómeno corrosivo produce un metal poroso que tiene propiedades mecánicas muy pobres y obviamente el remedio a este caso es el empleo de aleaciones que no sean susceptibles a este proceso.

2.4.2.2.8. Corrosión Inter-Granular o Inter-Cristalina

Para entender este tipo de ataque es necesario considerar que cuando un metal fundido se cuela en un molde, su solidificación comenzó con la formación de núcleos al azar, cada uno de los cuales crece en un arreglo atómico regular para formar lo que se conoce con el nombre de granos o cristales.

Los límites de grano son a veces atacados preferencialmente por un agente corrosivo y el ataque se relaciona con la segregación de elementos específicos o por la formación de un compuesto en el límite. La corrosión generalmente ocurre, porque el agente corrosivo ataca preferencialmente el límite de grano o una zona adyacente a él, que ha perdido un elemento necesario para tener una resistencia a la corrosión adecuada.

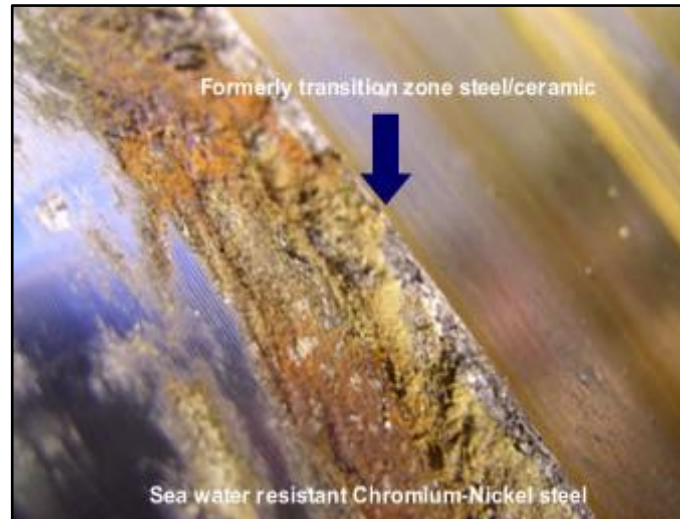


Figura 2.28. Pieza Metálica Afectada por Corrosión Inter - Granular.
Fuente. (www.cdcorrosion.com, 2014)

En un caso severo de corrosión ínter cristalina, granos enteros se desprenden debido a la deterioración completa de sus límites, en cuyo caso, la superficie aparecerá rugosa al ojo desnudo y se sentirá rasposa debido a la pérdida de los granos.

El fenómeno de límite de grano que causa la corrosión Inter cristalina, es sensible al calor por lo que la corrosión de este tipo, es un subproducto de un tratamiento térmico como la soldadura o el relevado de esfuerzos y puede ser corregido por otro tipo de tratamiento térmico o por el uso de una aleación modificada.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. LA PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES

Teniendo como marco teórico a la corrosión como la degradación del material debido a su interacción con el medio circundante, a través de la investigación se ha logrado de alternativas para el control y su posterior mitigación.

Entre estas alternativas tenemos los recubrimientos, pinturas y los sistemas de protección catódica, este último hace que la superficie del metal a proteger, actúe como el cátodo de una celda electroquímica ocasionando a que otro metal menos noble inmerso en el medio donde interactúan cumpla la función de ánodo o de “sacrificio”. Existen dos sistemas de protección catódica:

- Sistemas de Protección Catódica por Ánodos Galvánicos.
- Sistemas de Protección Catódica por Corrientes Impresas.

3.1.1. SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR ÁNODOS GALVÁNICOS

Los sistemas de ánodos galvánicos utilizan ánodos de sacrificio, los cuales están hechos de magnesio o zinc en forma de barras, los cuales se instalan a cierta distancia de la estructura a proteger enterrados en el suelo y rodeados de una mezcla química llamada relleno compuesta por un 75% de sulfato de calcio, 20% de bentonita y 5% de sulfato de sodio empacados en sacos especiales.

En aplicaciones de campo un número de ánodos es conectado a la estructura para asegurar niveles de sobreprotección. Las ventajas asociadas a los sistemas de protección catódica por ánodos de sacrificio se tienen:

- No requiere fuente de energía externa.
- Fácil instalación y relativo bajo costo por este rubro.
- Poca probabilidad de desarrollar interferencia catódica para otras estructuras.
- Sistema es esencialmente auto regulable.
- Bajo riesgo de sobreprotección y
- Relativa uniformidad en la distribución de los potenciales de protección.

Desafortunadamente, estos sistemas tienen sus limitantes tales como:

- Limitada energía y corriente de salida.
- En medios de alta resistividad o estructuras de gran magnitud se requiere de un número excesivo de ánodos. El máximo rango de resistividad esta entre los 6000 y 10000 Ω -cm. y dependiendo de la calidad del recubrimiento que actúa sobre la estructura.

La Figura 3.1 muestra un esquema general para la protección catódica con ánodos galvánicos o también llamados de “sacrificio”.

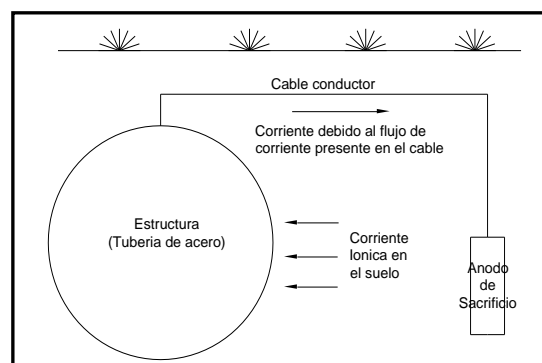


Figura 3.1. Esquema de Protección Catódica con Ánodos de Sacrificio.
Fuente. (Peabody A., 2002)

3.1.1.1. Ánodos Perimetrales.

La disposición de los ánodos para la protección catódica con ánodos galvánicos depende muchas veces de la forma o geometría de la estructura dado a que se busca una óptima distribución de la corriente de protección. Por ejemplo se maneja disposiciones paralelas en el caso de protección para tuberías e incluso recipientes enterrados. Para tanques sobre la superficie en contacto con el suelo la distribución adecuada es de forma perimetral (ver Figura 3.2).

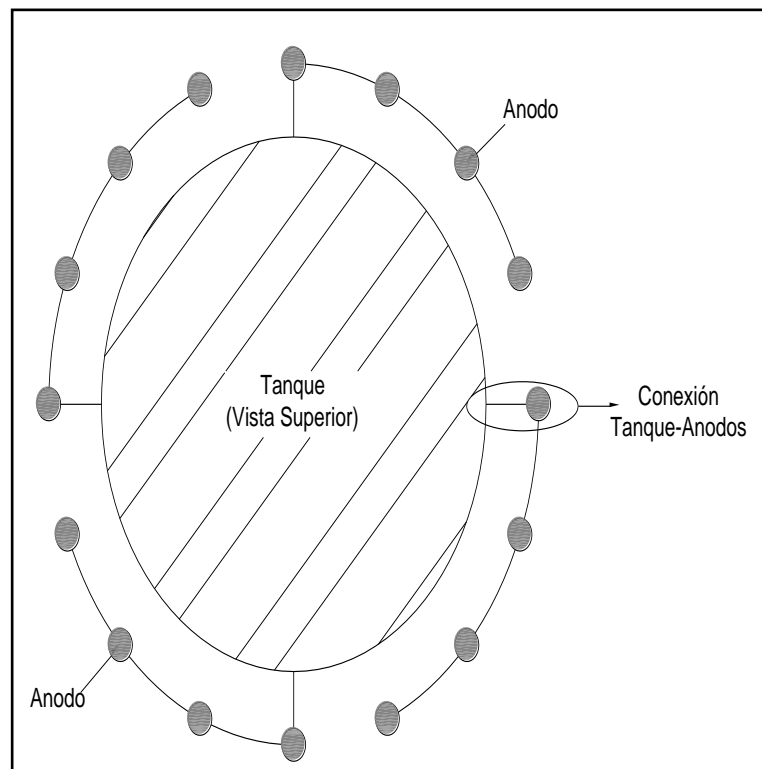


Figura 3.2. Distribución Perimetral con Ánodos Galvánicos.
Fuente. (Peabody A., 2002)

Los ánodos se disponen alrededor de la estructura, los cuales se conectan mediante un cable de conducción eléctrica al cuerpo del tanque, la Figura 3.3 muestra la conexión típica entre tanque y los ánodos.

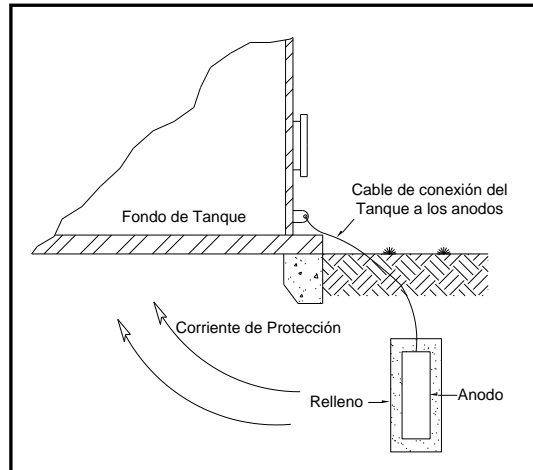


Figura 3.3. Conexión Típica Entre Tanque Y Ánodos.
Fuente. (Peabody A., 2002)

3.1.2. SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA.

Los sistemas de protección catódica por corriente impresa utilizan como medio de alimentación para su funcionamiento una fuente externa de energía. En contraste con los sistemas de protección catódica con ánodos galvánicos, la tasa de consumo de los ánodos es usualmente mucho más baja. Este tipo de sistemas son favorables bajo requerimientos de alta demanda de corriente y electrolitos o medios con alta resistividad eléctrica. Las siguientes ventajas pueden ser citadas para los sistemas de corrientes impresas:

- Rangos altos de corriente.
- Capacidad para ajustar los niveles de protección y extensas áreas de protección.
- Bajo número de ánodos incluso en medios de alta resistividad eléctrica.
- Pueden proteger estructuras con recubrimientos de baja calidad.

Las limitaciones que se tienen identificadas para este tipo de sistemas son:

- Riesgo relativamente alto para causar efectos de interferencia.
- Energía externa debe ser suministrada.
- Alto riesgo de daños sobreprotección.
- Riesgo de conexiones incorrectas por polaridad.
- Más complejo pero ocupa menos volumen que los sistemas de ánodos galvánicos en ciertas aplicaciones.

La fuente externa de energía es usualmente derivada de un rectificador, el cual a la fuente de corriente alterna la transforma y rectifica para obtener corriente continua de salida. Su polaridad negativa es derivada hacia la estructura mientras que la positiva es conectada a los ánodos (ver Figura 3.4).

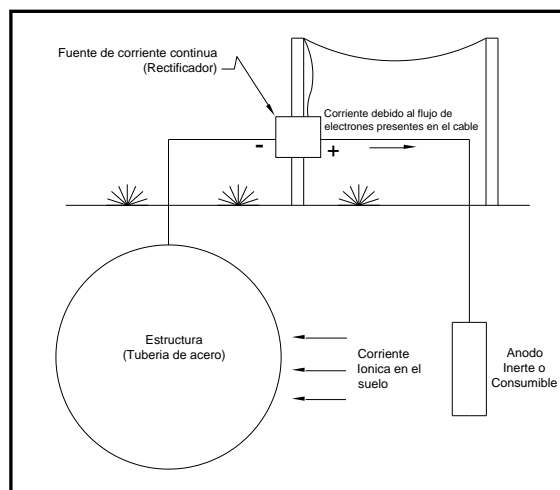


Figura 3.4. Esquema de Protección Catódica por Corrientes Impresas.
Fuente. (Peabody A., 2002)

Existen diversas formas de aplicación para este tipo de sistemas que dependen en ciertas condiciones a la forma de la estructura, requerimientos de protección o en si para estructuras existentes o nuevas. Por su forma de aplicación mencionamos las siguientes:

- Mallas.
- Ánodos Perimetrales.
- Ánodos Profundos.

3.1.2.1. Mallas

Uno de los métodos utilizados para fondos de tanques sobre suelos son las mallas, estos sistemas ofrecen una provisión de protección más uniforme y efectiva como así también una fácil instalación. Ideal para tanques nuevos o en aplicaciones para tanques ya existentes readecuados con un fondo de tanque adicional. Este sistema está compuesto de ánodos tipo cinta espaciados entre sí a una distancia aproximada de 1,5 metros (5 pies) para formar parte de una configuración paralela. A través de soldadura por resistencia, los ánodos tipo cinta son unidos a barras conductoras o también llamadas barras de distribución múltiple creando de esta manera la malla.

La Figura 3.5 muestra el esquema de distribución de una malla diseñada para un tanque, nótese la distribución de las barras conductoras como así también de los ánodos tipo cinta para determinar la forma deseada.

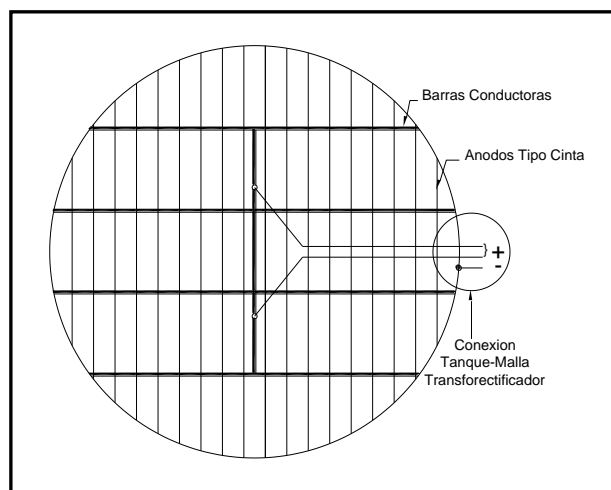


Figura 3.5. Esquema de Protección Catódica con Malla de Titanio.
Fuente. (Peabody A., 2002)

Generalmente este tipo de sistemas tienen una vida útil de 20 a 50 años, dependiendo el requerimiento de la estructura a proteger y necesidad del propietario o administrador. Los ánodos tipo cinta son hechos de sustrato de titanio, el cual está recubierto con un catalizador de mezcla de óxidos metálicos. Debido a que el sustrato de titanio es naturalmente protegido por

una capa oxidante, los ánodos tipo cinta permanecen estables en su dimensión durante la vida útil del sistema. La Figura 3.6 muestra la conexión entre el tanque, malla y el rectificador para su adecuado funcionamiento.

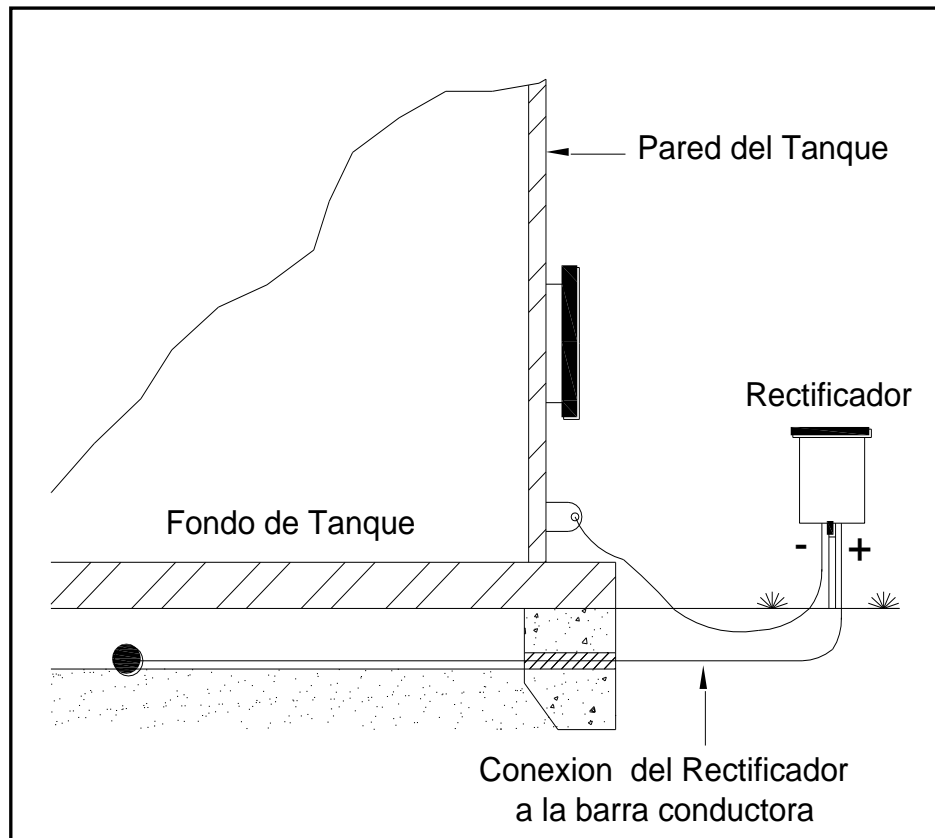


Figura 3.6. Conexión Tanque-Malla-Rectificador para Mallas de Titanio.
Fuente. (Peabody A., 2002)

Otra configuración muy utilizada para las mallas es de forma concéntrica, para este propósito se utiliza ánodos continuos de mezcla de óxidos metálicos (MMO sus siglas en inglés) los cuales se disponen de manera circunferencial y equidistantes entre ellos, obteniendo una distribución óptima de la corriente de protección. Cada uno de estos anillos que se forman funciona independientemente y son manipulados desde el rectificador para su debida graduación dado al área que ha sido designada a proteger. En la Figura 3.7 se muestra la configuración de los anillos de protección catódica.

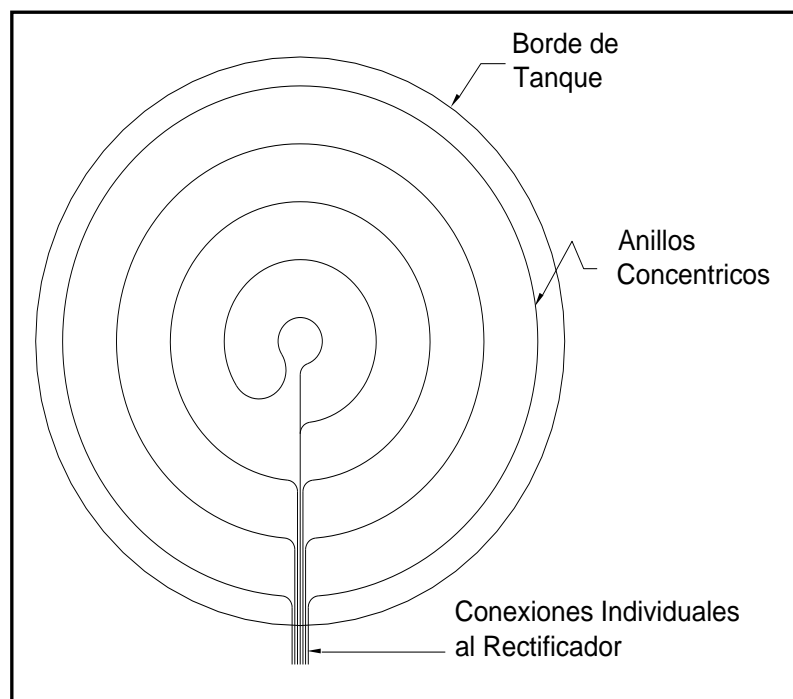


Figura 3.7. Esquema de Protección Catódica por Anillos Concéntricos.
Fuente. (Peabody A., 2002)

3.1.2.2. Ánodos Perimetrales

Para los sistemas de corrientes impresas también es una práctica ubicar los ánodos en forma perimetral, con la diferencia de que estos tendrán una fuente externa de energía para su funcionamiento, además que es menor la cantidad de ánodos a instalar dado a las características que desarrollan los ánodos para sistemas de corrientes impresas. En este mismo ámbito para bosque de tanques se realizan diseños de protección integral de tal manera que se disponen de un número determinado de ánodos a través de los alrededores de estas estructuras, de tal manera que su ubicación sea idónea para una distribución no solo para un tanque sino para todo el grupo. Con esto se consigue una economía en lo que tiene que ver con la instalación de un sistema integral mas no individual. En la Figura 3.8 se muestra la conexión entre tanque-ánodo-rectificador para instalaciones individuales y en forma perimetral.

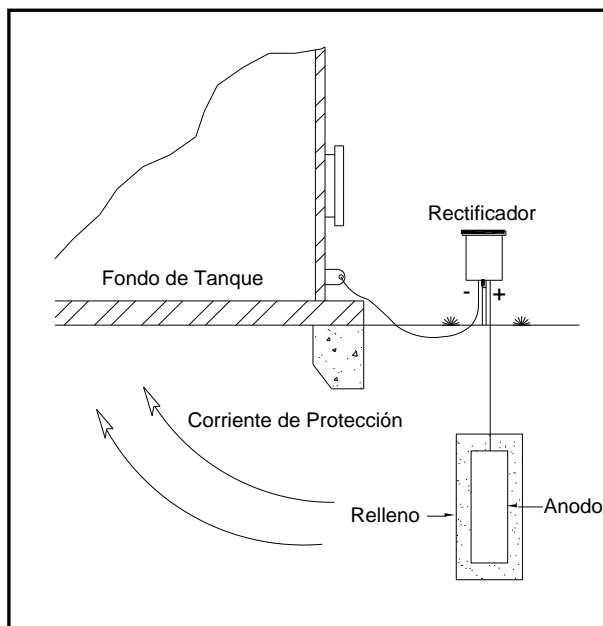


Figura 3.8. Conexión Tanque-Ánodo-Rectificador Para Ánodos Perimetrales.
Fuente. (Peabody A., 2002)

3.1.2.3. Ánodos Profundos

El sistema de ánodos profundos se define como la instalación de ánodos de manera vertical a una profundidad nominal de 40 metros o más con referencia al nivel de suelo, esta disposición se logra gracias a una perforación donde se alojan los ánodos, con el propósito de proporcionar una protección catódica más uniforme.

Entre sus ventajas se pueden mencionar la buena distribución de la corriente de protección que se desarrolla gracias a que la corriente de protección tiene su descarga a una profundidad adecuada con respecto a la superficie a proteger. En áreas congestionadas con estructuras de toda índole, este tipo de sistemas tiene la fortaleza que para su instalación no se necesita de espacio físico considerable en relación a los otros tipos de sistemas de protección ya sean galvánicos o por corrientes impresas. Otra de las ventajas es que gracias a que la zona de descarga de corriente de protección se encuentra a una profundidad considerable, la instalación de un sistema de ánodos profundos se puede realizar a una distancia remota con referencia a la estructura a proteger.

Este tipo de sistemas son beneficiosos dado que ha considerables profundidades encontramos estratos de baja resistividad, además que esta resistencia permanece más estable en el tiempo a causa de que los factores que controlan la resistencia (contenido de humedad y temperatura) son más constantes en niveles profundos. En la Figura 3.9 se presenta un esquema de instalación de ánodos profundos donde se denota la conexión con la estructura a proteger.

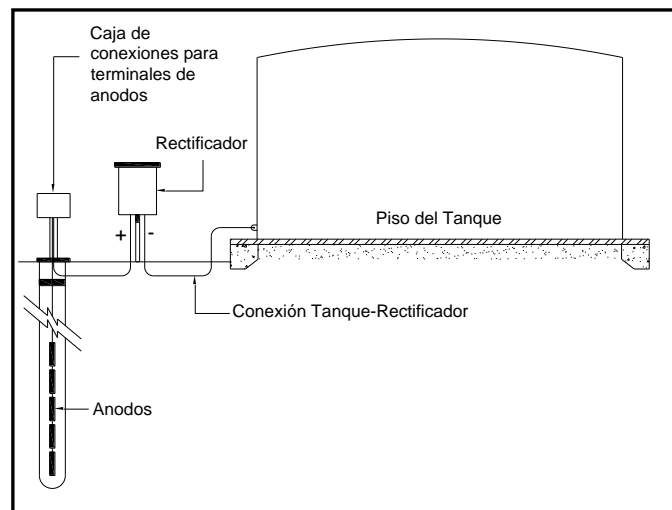


Figura 3.9. Esquema de Instalación de Ánodos Profundos.
Fuente. (Peabody A., 2002)

3.2. MATERIAL DE LOS ANODOS

Dentro de los materiales anódicos más usados para sistemas tanto superficiales como profundos se tienen al grafito, hierro fundido con alto de grado de silicio, mezcla de óxidos metálicos y platino.

3.2.1. ÁNODOS DE GRAFITO

Estos ánodos son altamente porosos y esto es generalmente deseable para restringir las reacciones anódicas hacia superficie exterior y por ende limitar el proceso de degradación (Ver Figura 3.10.). La impregnación del grafito con sellos de cera, aceite o resina a la estructura porosa hasta como sea

posible, reduce la tasa de consumo por encima de un 50%. Estos ánodos son típicamente manufacturados con cables de cobre aislados con polietileno de alto peso molecular (HMWPE de sus siglas en inglés) con una longitud estándar de 6 metros de cable # 8 AWG. Tiene limitaciones tales como las densidades de corriente a operar son restringidas a niveles relativamente bajos; además el material es inherentemente frágil, con riesgo alto de fractura durante la instalación y golpes de carga operacional. En la Tabla 3.1. Se muestra la composición típica de este tipo de ánodos.



Figura 3.10. Ánodos de Grafito.
Fuente. (Peabody A., 2002)

Tabla 3.1. Composición Química De Los Ánodos De Grafito.

COMPOSICIÓN QUIMICA	
ELEMENTO	CONTENIDO EN %
Carbón	99,8
Ceniza	0,2

Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

3.2.2. ÁNODOS DE HIERRO FUNDIDO CON ALTO GRADO DE SILICIO

Normalmente contienen entre el 14% y 15% más de silicio que las otras cantidades de elementos aleantes. Esta clase de ánodos vienen manufacturados con el mismo tipo de cable como los ánodos de grafito. El

material es algo frágil por lo que para cuestiones de instalación se lo debe manejar con sumo cuidado (Ver Figura 3.11.)



Figura 3.11. Ánodos de Hierro Fundido con Alto Grado de Silicio.
Fuente. (Peabody A., 2002)

En la Tabla 3.2. Se muestra los elementos y porcentajes de la composición química de los ánodos también llamados “ánodos de hierro silicio”.

Tabla 3.2. Composición Química de Ánodos de Grafito.

COMPOSICIÓN QUIMICA	
ELEMENTO	CONTENIDO EN %
C	0,70 - 1,10
Mn	1,50 máximo
Si	14,20 - 14,75
Cr	3,25 - 5,00
Mo	0,2 máximo
Cu	0,5 máximo
Hierro	Resto

Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

3.2.3. ÁNODOS DE MEZCLA DE ÓXIDOS METÁLICOS

Disponibles en varias medidas y formas. Desarrollado en los años 60 por la producción de cloro y soda cáustica. Usualmente las capas de mezcla de óxidos metálicos son aplicadas térmicamente a metales preciosos tales como el titanio y el niobio. Este recubrimiento tiene una excelente

conductividad y resistencia a medios ácidos, son químicamente estables y tiene una tasa baja de consumo. (Ver Figura 3.12.)



Figura 3.12. Ánodos de Mezcla de Óxidos Metálicos.
Fuente. (Peabody A., 2002)

3.2.4. ÁNODOS DE PLATINO

Son diseñados para permanecer completamente pasivos y utilizan un recubrimiento superficial de platino (algunos micrómetros de espesor) sobre sustratos de titanio, niobio y tantalio para este propósito. Estos ánodos son fabricados en forma de barras, cables, mallas, tubos o cintas. (Ver Figura 3.13.)



Figura 3.13. Ánodos De Platino.
Fuente. (Peabody A., 2002)

En la Tabla 3.3 se proporciona datos acerca de la composición química de los ánodos de platino, como podremos observar su nombre en si se deriva de la capa externa del ánodo.

Tabla 3.3. Composición Química De Ánodos De Platino

COMPOSICIÓN QUIMICA	
ELEMENTO	CONTENIDO EN %
Cobre	79,5
Niobio	19,5
Platino	Menos del 1%

Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el Terminal de Productos Limpios de Riobamba de PETROCOMERCIAL, tenemos siete tanques, dos tanques de almacenamiento de Diesel, dos tanques de almacenamiento de Gasolina Extra, dos tanques de almacenamiento Gasolina Super y un tanque Slop.

Todos los tanques se construyeron sobre un anillo de concreto, con una cama de arena en el interior. La superficie externa del fondo de los tanques, la cual se encuentra en contacto con la arena, estará expuesta a posibles acciones corrosivas del medio que es eminentemente húmedo. Por tal motivo se requiere de protección catódica en la parte externa del fondo de los tanques.

El sistema de protección catódica posible en este tipo de construcción de tanques es la instalación de una malla por debajo del fondo de los tanques. Actualmente, gracias al desarrollo tecnológico, existen ánodos en forma de cinta que pueden ser instalados fácilmente en el lecho de arena. Estos ánodos cuentan con un sustrato de Titanio, el cual está recubierto con una mezcla de Oxido de Metales ($\text{IrO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$) permitiendo un drenaje de corriente elevado con una baja tasa de consumo. En la tabla 4.1 se describe los tanques que va ser protegidos sus dimensionamientos y producto a utilizar.

Considerando las ventajas que presta el método por corriente impresa se ha decidido adoptar este método de Protección Catódica y a la vez seleccionar uno de los tipos de ánodos de última tecnología con el propósito de incrementar la eficiencia en la protección y la vida útil del sistema.

El sistema de Protección Catódica ha sido diseñado para una vida útil de más de 25 años.

El fabricante de los Ánodos garantiza una vida útil de éstos ánodos de hasta 15 años, pero es recomendable realizar mediciones de Fuerza Electromotriz (FEM) en el sistema cada 5 años para determinar que funcione adecuadamente y si los ánodos tienen aún capacidad operativa. En éste tipo de protecciones se recomienda cambiar los ánodos cada 10 a 12 años.

El sistema de protección catódica por corriente impresa propuesta tiene que ser identificado y evaluado en la matriz de aspectos e impactos ambientales.

La protección sugerida evitará impactos Económicos, Humano-Sociales, de Seguridad Industrial y Ambientales que afectarían gravemente al Terminal de Productos Limpios de EP-PETROECUADOR y a la sociedad-medio ambiente en general.

En la tabla 4.1 vamos a describir las características de los 7 tanques con diámetros en unidades de milímetros y producto a almacenar.

Tabla 4.1. Descripción de los Tanques

Nº de tanque	Diámetro	Producto
T-230 y T-231	17701 mm	Diesel
T-210 y T-211	17661 mm	Gasolina Extra
T-220 y T-221	10557 mm	Gasolina Super
T-250	6597 mm	Slop

Fuente. (EP-PETROECUADOR, 2014)

4.1. Cálculos de las Resistencias del Tanque Diesel T-230

4.1.1 Cálculo de la Resistencia anódica

$$R_a = R_{c.anod} + R_{ca.} + R_{cinta} + R_{apat} \quad [4.1]$$

Donde:

R_a : resistencia anódica, en ohmios.

$R_{c.anod}$: resistencia del cable anódico, en ohmios.

$R_{ca.}$: resistencia cable alimentadores, en ohmios.

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

R_{apat} : resistencia de ánodos puesto a tierra, en ohmios.

$$R_a = 0.10\Omega + 0.06\Omega + 0.11\Omega + 0.8\Omega$$

$$\mathbf{R_a = 1.1\Omega}$$

4.1.1.1 Cálculo de la Resistencia del cable anódico

$$R_{c.anod} = L_{c.anod} \times R_{HMWPE} \quad [4.2]$$

Donde:

$R_{c.anod}$ = resistencia del cable anódico, en ohmios.

$L_{c.anod}$ = longitud cable anódico, en metros.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en

$\frac{\Omega}{km}$

$$R_{c.anod} = 48m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$\mathbf{R_{c.anod} = 0.10 \Omega}$$

4.1.1.2 Cálculo de la Resistencia de los cables alimentadores

$$R_{ca.} = L_{al_prom} \times \frac{R_{HMWPE}}{N_{alim}} \quad [4.3]$$

Donde:

$R_{ca.}$: resistencia cable alimentadores, en ohmios.

L_{al_prom} : longitud promedio de alimentadores, en metros.

N_{alim} : número de alimentadores.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en ohmio por kilómetro.

$$R_{ca.} = 9.9m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m} / 3$$

$$R_{ca.} = 0.06 \Omega$$

4.1.1.3 Cálculo de la Resistencia de la cinta anódica

$$R_{cinta} = L_{ca_prom} \times R_{lin_cinta} / N_{lp_inst} \quad [4.4]$$

Donde:

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

L_{ca_prom} : longitud promedio de alimentadores, en metros.

R_{lin_cinta} : resistencia cinta anódica Manual curso NACE CP4 en ohmio por metro.

$$R_{cinta} = 14 m \times 0.105 \frac{\Omega}{m} / 17$$

$$R_{cinta} = 0.11 \Omega$$

4.1.1.4 Cálculo de la Resistencias de los ánodos puesto a tierra

$$R_{apa} = \rho_{arena} \times h / [L_{a_inst} \times (S_{a_inst} - W)] \times LN(S_{a_inst} / W) \quad [4.5]$$

Donde:

R_{apa} : resistencias de los ánodos puesto a tierra, en ohmios.

P_{arena} : resistividad del suelo, en ohmio por metro.

H: profundidad de la cinta anódica, en metros.

L_{a_inst} : longitud de la cinta a instalar, en metros.

S_{a_inst} : separación de la cintas anódicas, en metros.

W: ancho de la cinta anódica, catálogo ánodos TELPRO, en milímetros.

$$R_{apa} = 100 \Omega\text{-m} \times 0.4\text{m} / [236.3\text{m} \times (1.04\text{m} - 0.635\text{m})] \times \text{LN}(1.04\text{m}/0.635\text{m})$$

$$R_{apa} = 0.8 \Omega$$

4.1.2 Cálculo de la Resistencias Catódica

$$R_c = R_{ca-} + R_{cpat} \quad [4.6]$$

Donde:

R_c : resistencia catódica, en ohmios.

R_{ca-} : resistencia del cable, en ohmios.

R_{cpat} : resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

$$R_c = 0.10 \Omega + 1.8 \Omega$$

$$R_c = 1.9 \Omega$$

4.1.2.1 Cálculo de la Resistencia de los cables

$$R_{ca-} = L_{c.cat} \times R_{HMWPE} \quad [4.7]$$

Donde:

R_{ca-} : resistencia del cable, en ohmios.

$L_{c.cat}$: longitud del cable catódico, en metros.

R_{HMWPE}: resistencia del cable HMWPE AWG#8

$$R_{ca} = 48.0m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$R_{ca} = 0.10 \Omega$$

4.1.2.2 Cálculo del cátodo puesto a tierra

$$R_{cpat} = \rho_{arena} / (\pi \times Dr) \quad [4.8]$$

Donde:

R_{cpat}: resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

P_{arena}: resistividad del suelo, en ohmio por metro.

Dr: diámetro real, en metros.

$$R_{cpat} = 100 \Omega\text{-m} / (\pi \times 17.7m)$$

$$R_{cpat} = 1.8 \Omega$$

4.1.3 Cálculo de la Resistencia total

$$R_{tot} = R_a + R_c \quad [4.9]$$

Donde:

R_{tot}: resistencia total, en ohmios.

R_a: resistencia anódica, en ohmios.

R_c: resistencia catódica, en ohmios.

$$R_{tot} = 1.1 \Omega + 1.9 \Omega$$

$$R_{tot} = 3.0 \Omega$$

4.2. Cálculos de las Resistencias del Tanque Diesel T-231

4.2.1 Cálculo de la Resistencia anódica

$$R_a = R_{c.anod} + R_{ca} + R_{cinta} + R_{apat}$$

Donde:

R_a : resistencia anódica, en ohmios.

$R_{c.anod}$: resistencia del cable anódico, en ohmios.

R_{ca} : resistencia cable alimentadores, en ohmios.

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

R_{apat} : resistencia de ánodos puesto a tierra, en ohmios.

$$R_a = 0.17\Omega + 0.06\Omega + 0.11\Omega + 0.8\Omega$$

$$\mathbf{R_a = 1.2\Omega}$$

4.2.1.1 Cálculo de la Resistencia del cable anódico

$$R_{c.anod} = L_{c.anod} \times R_{HMWPE}$$

Donde:

$R_{c.anod}$ = resistencia del cable anódico, en ohmios.

$L_{c.anod}$ = longitud cable anódico, en metros.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en

$$\frac{\Omega}{km}$$

$$R_{c.anod} = 79.0m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$\mathbf{R_{c.anod} = 0.17 \Omega}$$

4.2.1.2 Cálculo de la Resistencia de los cables alimentadores

$$R_{ca.} = L_{al_prom} \times \frac{R_{HMWPE}}{N_{alim}}$$

Donde:

$R_{ca.}$: resistencia cable alimentadores, en ohmios.

L_{al_prom} : longitud promedio de alimentadores, en metros.

N_{alim} : número de alimentadores.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en ohmio por kilómetro.

$$R_{ca.} = 9.9m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m} / 3$$

$$R_{ca.} = 0.06 \Omega$$

4.2.1.3 Cálculo de la Resistencia de la cinta anódica

$$R_{cinta} = L_{ca_prom} \times R_{lin_cinta} / N_{ip_inst}$$

Donde:

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

L_{ca_prom} : longitud promedio de alimentadores, en metros.

R_{lin_cinta} : resistencia cinta anódica Manual curso NACE CP4 en ohmio por metro.

$$R_{cinta} = 14 m \times 0.105 \frac{\Omega}{m} / 17$$

$$R_{cinta} = 0.11 \Omega$$

4.2.1.4 Cálculo de la Resistencias de los ánodos puesto a tierra

$$R_{apa} = \rho_{arena} \times h / [L_{a_inst} \times (S_{a_inst} - W)] \times LN(S_{a_inst} / W)$$

Donde:

R_{apa} : resistencias de los ánodos puesto a tierra, en ohmios.

P_{arena} : resistividad del suelo, en ohmio por metro.

H: profundidad de la cinta anódica, en metros.

L_{a_inst} : longitud de la cinta a instalar, en metros.

S_{a_inst} : separación de la cintas anódicas, en metros.

W: ancho de la cinta anódica, catálogo ánodos TELPRO, en milímetros.

$$R_{apa} = 100 \Omega\text{-m} \times 0.4\text{m} / [236.3\text{m} \times (1.04\text{m} - 0.635\text{m})] \times \text{LN}(1.04\text{m}/0.635\text{m})$$

$$R_{apa} = 0.8 \Omega$$

4.2.2 Cálculo de la Resistencias Catódica

$$R_c = R_{ca-} + R_{cpat}$$

Donde:

R_c : resistencia catódica, en ohmios.

R_{ca-} : resistencia del cable, en ohmios.

R_{cpat} : resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

$$R_c = 0.17 \Omega + 1.8 \Omega$$

$$R_c = 2.0 \Omega$$

4.2.2.1 Cálculo de la Resistencia de los cables

$$R_{ca-} = L_{c.cat} \times R_{HMWPE}$$

Donde:

R_{ca-} : resistencia del cable, en ohmios.

$L_{c.cat}$: longitud del cable catódico de acuerdo a plano de instalación , en metros.

R_{HMWPE} : resistencia del cable HMWPE AWG#8

$$R_{ca-} = 79.0m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$\mathbf{R_{ca-} = 0.17 \Omega}$$

4.2.2.2 Cálculo del cátodo puesto a tierra

$$R_{cpat} = \rho_{arena} / (\pi \times D_r)$$

Donde:

R_{cpat} : resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

ρ_{arena} : resistividad del suelo, en ohmio por metro.

D_r : diámetro real, en metros.

$$R_{cpat} = 100 \Omega\text{-m} / (\pi \times 17.7m)$$

$$\mathbf{R_{cpat} = 1.8 \Omega}$$

4.1.3 Cálculo de la Resistencia total

$$R_{tot} = R_a + R_c$$

Donde:

R_{tot} : resistencia total, en ohmios.

R_a : resistencia anódica, en ohmios.

R_c : resistencia catódica, en ohmios.

$$R_{tot} = 1.2 \Omega + 2.0 \Omega$$

$$\mathbf{R_{tot} = 3.1 \Omega}$$

4.3. Cálculos del Rectificador de los Tanque Diesel T-230/T-231

4.3.1 Cálculo del Voltaje del Rectificador

$$V_{cal} = (R_{tot} * I_{cal}) + E_{ret} \quad [4.10]$$

Donde:

V_{cal} : voltaje del Rectificador, en voltios.

R_{tot} : resistencia equivalente

I_{cal} : corriente de cálculo

E_{ret} : voltaje de retorno

$$R_{tot} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_{T230}} + \frac{1}{R_{T231}} + \frac{1}{R_{Tfut1}} + \frac{1}{R_{Tfut2}}\right)} \quad [4.11]$$

Donde:

R_{T230} : resistencia total T-230

R_{T231} : resistencia total T-231

R_{Tfut1} : resistencia total futura

R_{Tfut2} : resistencia total future

$$R_{tot} = \frac{1}{\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3,1} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right)} \quad [4.12]$$

$$R_{tot} = 0,8$$

$$I_{cal} = I_{req} * (1 + F_{seg}) \quad [4.13]$$

Donde:

I_{req} : corriente total requerida

F_{seg} : factor de seguridad (75%)

$$I_{req} = I_{T230} + I_{T231} + I_{Tfut1} + I_{Tfut2} \quad [4.14]$$

Donde:

I_{T230} : corriente T₂₃₀

I_{T231} : corriente T₂₃₁

I_{Tfut1} : corriente tanque futuro

I_{Tfut2} : corriente tanque futuro

$$I_{req} = 5,01 + 5,01 + 5,01 + 5,01$$

$$I_{req} = 20,04 \text{ A}$$

$$I_{cal} = 20,04 * (1 + 0,75)$$

$$I_{cal} = 35,06 \text{ A}$$

$$V_{cal} = (0,8 * 35,06) + 1,75$$

$$V_{cal} = 28,34 \text{ V}$$

4.4. Cálculos de las Resistencias del Tanque Extra T-210

4.4.1 Cálculo de la Resistencia anódica

$$R_a = R_{c.anod} + R_{ca} + R_{cinta} + R_{apat}$$

Donde:

R_a : resistencia anódica, en ohmios.

$R_{c.anod}$: resistencia del cable anódico, en ohmios.

R_{ca} : resistencia cable alimentadores, en ohmios.

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

R_{apat} : resistencia de ánodos puesto a tierra, en ohmios.

$$R_a = 0.13\Omega + 0.06\Omega + 0.11\Omega + 0.6\Omega$$

$$R_a = 0.9\Omega$$

4.4.1.1 Cálculo de la Resistencia del cable anódico

$$R_{c.anod} = L_{c.anod} \times R_{HMWPE}$$

Donde:

$R_{c.anod}$ = resistencia del cable anódico, en ohmios.

$L_{c.anod}$ = longitud cable anódico, en metros.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en

$$\frac{\Omega}{km}$$

$$R_{c.anod} = 60.0m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$R_{c.anod} = 0.13 \Omega$$

4.4.1.2 Cálculo de la Resistencia de los cables alimentadores

$$R_{ca.} = L_{al_prom} \times \frac{R_{HMWPE}}{N_{alim}}$$

Donde:

$R_{ca.}$: resistencia cable alimentadores, en ohmios.

L_{al_prom} : longitud promedio de alimentadores, en metros.

N_{alim} : número de alimentadores.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en ohmio por kilómetro.

$$R_{ca.} = 9.7m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m} / 3$$

$$R_{ca.} = 0.06 \Omega$$

4.4.1.3 Cálculo de la Resistencia de la cinta anódica

$$R_{cinta} = L_{ca_prom} \times R_{lin_cinta} / N_{ip_inst}$$

Donde:

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

L_{ca_prom} : longitud promedio de alimentadores, en metros.

R_{lin_cinta} : resistencia cinta anódica Manual curso NACE CP4 en ohmio por metro.

$$R_{cinta} = 13.3 \text{ m} \times 0.105 \frac{\Omega}{\text{m}} / 17$$

$$R_{cinta} = 0.11 \Omega$$

4.4.1.4 Cálculo de la Resistencias de los ánodos puesto a tierra

$$R_{apa} = \rho_{arena} \times h / [L_{a_inst} \times (S_{a_inst} - W)] \times \text{LN}(S_{a_inst} / W)$$

Donde:

R_{apa} : resistencias de los ánodos puesto a tierra, en ohmios.

ρ_{arena} : resistividad del suelo, en ohmio por metro.

H: profundidad de la cinta anódica, en metros.

L_{a_inst} : longitud de la cinta a instalar, en metros.

S_{a_inst} : separación de la cintas anódicas, en metros.

W: ancho de la cinta anódica, catálogo ánodos TELPRO, en milímetros.

$$R_{apa} = 100 \Omega\text{-m} \times 0.3\text{m} / [231.4\text{m} \times (1.02\text{m} - 0.635\text{m})] \times \text{LN}(1.02\text{m}/0.635\text{m})$$

$$R_{apa} = 0.6 \Omega$$

4.4.2 Cálculo de la Resistencias Catódica

$$R_c = R_{ca} + R_{cpat}$$

Donde:

R_c : resistencia catódica, en ohmios.

R_{ca-} : resistencia del cable, en ohmios.

R_{cpat} : resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

$$R_c = 0.13 \Omega + 1.8 \Omega$$

$$R_c = 2.0 \Omega$$

4.4.2.1 Cálculo de la Resistencia de los cables

$$R_{ca-} = L_{c.cat} \times R_{HMWPE}$$

Donde:

R_{ca-} : resistencia del cable, en ohmios.

$L_{c.cat}$: longitud del cable catódico de acuerdo a plano de instalación, en metros.

R_{HMWPE} : resistencia del cable HMWPE AWG#8

$$R_{ca-} = 60.0m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$R_{ca-} = 0.13 \Omega$$

4.4.2.2 Cálculo del cátodo puesto a tierra

$$R_{cpat} = \rho_{arena} / (\pi \times D_r)$$

Donde:

R_{cpat} : resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

ρ_{arena} : resistividad del suelo, en ohmio por metro.

D_r : diámetro real, en metros.

$$R_{\text{cpat}} = 100 \Omega\text{-m} / (\pi \times 17.33\text{m})$$

$$R_{\text{cpat}} = 1.8 \Omega$$

4.1.3 Cálculo de la Resistencia total

$$R_{\text{tot}} = R_a + R_c$$

Donde:

R_{tot} : resistencia total, en ohmios.

R_a : resistencia anódica, en ohmios.

R_c : resistencia catódica, en ohmios.

$$R_{\text{tot}} = 0.9 \Omega + 2.0 \Omega$$

$$R_{\text{tot}} = 2.9 \Omega$$

4.5. Cálculos de las Resistencias del Tanque Extra T-211

4.5.1 Cálculo de la Resistencia anódica

$$R_a = R_{\text{c.anod}} + R_{\text{ca.}} + R_{\text{cinta}} + R_{\text{apat}}$$

Donde:

R_a : resistencia anódica, en ohmios.

$R_{\text{c.anod}}$: resistencia del cable anódico, en ohmios.

$R_{\text{ca.}}$: resistencia cable alimentadores, en ohmios.

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

R_{apat} : resistencia de ánodos puesto a tierra, en ohmios.

$$R_a = 0.20\Omega + 0.06\Omega + 0.11\Omega + 0.6\Omega$$

$$R_a = 1.0\Omega$$

4.5.1.1 Cálculo de la Resistencia del cable anódico

$$R_{c.anod} = L_{c.anod} \times R_{HMWPE}$$

Donde:

$R_{c.anod}$ = resistencia del cable anódico, en ohmios.

$L_{c.anod}$ = longitud cable anódico, en metros.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en

$$\frac{\Omega}{km}$$

$$R_{c.anod} = 93.0m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$R_{c.anod} = 0.20 \Omega$$

4.5.1.2 Cálculo de la Resistencia de los cables alimentadores

$$R_{ca.} = L_{al_prom} \times \frac{R_{HMWPE}}{N_{alim}}$$

Donde:

$R_{ca.}$: resistencia cable alimentadores, en ohmios.

L_{al_prom} : longitud promedio de alimentadores, en metros.

N_{alim} : número de alimentadores.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en ohmio por kilómetro.

$$R_{ca.} = 9.7m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m} / 3$$

$$R_{ca.} = 0.06 \Omega$$

4.5.1.3 Cálculo de la Resistencia de la cinta anódica

$$R_{cinta} = L_{ca_prom} \times R_{lin_cinta} / N_{ip_inst}$$

Donde:

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

L_{ca_prom} : longitud promedio de alimentadores, en metros.

R_{lin_cinta} : resistencia cinta anódica Manual curso NACE CP4 en ohmio por metro.

$$R_{cinta} = 13.3 \text{ m} \times 0.105 \frac{\Omega}{\text{m}} / 17$$

$$R_{cinta} = 0.11 \Omega$$

4.5.1.4 Cálculo de la Resistencias de los ánodos puesto a tierra

$$R_{apa} = \rho_{arena} \times h / [L_{a_inst} \times (S_{a_inst} - W)] \times \text{LN}(S_{a_inst} / W)$$

Donde:

R_{apa} : resistencias de los ánodos puesto a tierra, en ohmios.

ρ_{arena} : resistividad del suelo, en ohmio por metro.

H: profundidad de la cinta anódica, en metros.

L_{a_inst} : longitud de la cinta a instalar, en metros.

S_{a_inst} : separación de la cintas anódicas, en metros.

W: ancho de la cinta anódica, catálogo ánodos TELPRO, en milímetros.

$$R_{apa} = 100 \Omega\text{-m} \times 0.3\text{m} / [231.4\text{m} \times (1.02\text{m} - 0.635\text{m})] \times \text{LN}(1.02\text{m}/0.635\text{m})$$

$$R_{apa} = 0.6 \Omega$$

4.5.2 Cálculo de la Resistencias Catódica

$$R_c = R_{ca} + R_{cpat}$$

Donde:

R_c : resistencia catódica, en ohmios.

R_{ca} : resistencia del cable, en ohmios.

R_{cpat} : resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

$$R_c = 0.13 \Omega + 1.8 \Omega$$

$$R_c = 2.0 \Omega$$

4.5.2.1 Cálculo de la Resistencia de los cables

$$R_{ca-} = L_{c.cat} \times R_{HMWPE}$$

Donde:

R_{ca-} : resistencia del cable, en ohmios.

$L_{c.cat}$: longitud del cable catódico de acuerdo a plano de instalación , en metros.

R_{HMWPE} : resistencia del cable HMWPE AWG#8

$$R_{ca-} = 93.0m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$R_{ca-} = 0.20 \Omega$$

4.5.2.2 Cálculo del cátodo puesto a tierra

$$R_{cpat} = \rho_{arena} / (\pi \times D_r)$$

Donde:

R_{cpat} : resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

ρ_{arena} : resistividad del suelo, en ohmio por metro.

D_r : diámetro real, en metros.

$$R_{cpat} = 100 \Omega\text{-m} / (\pi \times 17.33m)$$

$$R_{cpat} = 1.8 \Omega$$

4.5.3 Cálculo de la Resistencia total

$$R_{tot} = R_a + R_c$$

Donde:

R_{tot} : resistencia total, en ohmios.

R_a : resistencia anódica, en ohmios.

R_c : resistencia catódica, en ohmios.

$$R_{tot} = 1.0 \Omega + 2.0 \Omega$$

$$R_{tot} = 3.0 \Omega$$

4.6. Cálculos de las Resistencias del Tanque Super T-220

4.6.1 Cálculo de la Resistencia anódica

$$R_a = R_{c.anod} + R_{ca.} + R_{cinta} + R_{apat}$$

Donde:

R_a : resistencia anódica, en ohmios.

$R_{c.anod}$: resistencia del cable anódico, en ohmios.

$R_{ca.}$: resistencia cable alimentadores, en ohmios.

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

R_{apat} : resistencia de ánodos puesto a tierra, en ohmios.

$$R_a = 0.09\Omega + 0.04\Omega + 0.11\Omega + 1.8\Omega$$

$$R_a = 1.0\Omega$$

4.6.1.1 Cálculo de la Resistencia del cable anódico

$$R_{c.anod} = L_{c.anod} \times R_{HMWPE}$$

Donde:

$R_{c.anod}$ = resistencia del cable anódico, en ohmios.

$L_{c.anod}$ = longitud cable anódico, en metros.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en $\frac{\Omega}{km}$

$$R_{c.anod} = 45.0m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$\mathbf{R_{c.anod} = 0.09 \Omega}$$

4.6.1.2 Cálculo de la Resistencia de los cables alimentadores

$$R_{ca.} = L_{al.prom} \times \frac{R_{HMWPE}}{N_{alim}}$$

Donde:

$R_{ca.}$: resistencia cable alimentadores, en ohmios.

$L_{al.prom}$: longitud promedio de alimentadores, en metros.

N_{alim} : número de alimentadores.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en ohmio por kilómetro.

$$R_{ca.} = 5.7m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m} / 3$$

$$\mathbf{R_{ca.} = 0.04 \Omega}$$

4.6.1.3 Cálculo de la Resistencia de la cinta anódica

$$R_{cinta} = L_{ca.prom} \times R_{lin.cinta} / N_{ip.inst}$$

Donde:

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

$L_{ca.prom}$: longitud promedio de alimentadores, en metros.

R_{lin_cinta}: resistencia cinta anódica Manual curso NACE CP4 en ohmio por metro.

$$R_{cinta} = 8.0 \text{ m} \times 0.105 \frac{\Omega}{\text{m}} / 10$$

$$R_{cinta} = 0.11 \Omega$$

4.6.1.4 Cálculo de la Resistencias de los ánodos puesto a tierra

$$R_{apa} = \rho_{arena} \times h / [L_{a_inst} \times (S_{a_inst} - W)] \times \text{LN}(S_{a_inst} / W)$$

Donde:

R_{apa} : resistencias de los ánodos puesto a tierra, en ohmios.

P_{arena}: resistividad del suelo, en ohmio por metro.

H: profundidad de la cinta anódica, en metros.

L_{a_inst}: longitud de la cinta a instalar, en metros.

S_{a_inst} : separación de la cintas anódicas, en metros.

W: ancho de la cinta anódica, catálogo ánodos TELPRO, en milímetros.

$$R_{apa} = 100 \Omega\text{-m} \times 0.3\text{m} / [80.3\text{m} \times (1.02\text{m} - 0.635\text{m})] \times \text{LN}(1.02\text{m}/0.635\text{m})$$

$$R_{apa} = 1.8\Omega$$

4.6.2 Cálculo de la Resistencias Catódica

$$R_c = R_{ca} + R_{cpat}$$

Donde:

R_c: resistencia catódica, en ohmios.

R_{ca}: resistencia del cable, en ohmios.

R_{cpat} : resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

$$R_c = 0.09 \Omega + 3.1 \Omega$$

$$R_c = 3.2 \Omega$$

4.6.2.1 Cálculo de la Resistencia de los cables

$$R_{ca-} = L_{c.cat} \times R_{HMWPE}$$

Donde:

R_{ca-} : resistencia del cable, en ohmios.

$L_{c.cat}$: longitud del cable catódico de acuerdo a plano de instalación, en metros.

R_{HMWPE} : resistencia del cable HMWPE AWG#8

$$R_{ca-} = 45.0m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$R_{ca-} = 0.09 \Omega$$

4.6.2.2 Cálculo del cátodo puesto a tierra

$$R_{cpat} = \rho_{arena} / (\pi \times D_r)$$

Donde:

R_{cpat} : resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

ρ_{arena} : resistividad del suelo, en ohmio por metro.

D_r : diámetro real, en metros.

$$R_{cpat} = 100 \Omega\text{-m} / (\pi \times 10.22m)$$

$$R_{cpat} = 3.1 \Omega$$

4.6.3 Cálculo de la Resistencia total

$$R_{tot} = R_a + R_c$$

Donde:

R_{tot} : resistencia total, en ohmios.

R_a : resistencia anódica, en ohmios.

R_c : resistencia catódica, en ohmios.

$$R_{tot} = 2.1 \Omega + 3.2 \Omega$$

$$R_{tot} = 5.3 \Omega$$

4.7. Cálculos de las Resistencias del Tanque Super T-221

4.7.1 Cálculo de la Resistencia anódica

$$R_a = R_{c.anod} + R_{ca.} + R_{cinta} + R_{apat}$$

Donde:

R_a : resistencia anódica, en ohmios.

$R_{c.anod}$: resistencia del cable anódico, en ohmios.

$R_{ca.}$: resistencia cable alimentadores, en ohmios.

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

R_{apat} : resistencia de ánodos puesto a tierra, en ohmios.

$$R_a = 0.16\Omega + 0.04\Omega + 0.11\Omega + 1.8\Omega$$

$$R_a = 2.1\Omega$$

4.7.1.1 Cálculo de la Resistencia del cable anódico

$$R_{c.anod} = L_{c.anod} \times R_{HMWPE}$$

Donde:

$R_{c.anod}$ = resistencia del cable anódico, en ohmios.

$L_{c.anod}$ = longitud cable anódico, en metros.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en $\frac{\Omega}{km}$

$$R_{c.anod} = 76.0m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$R_{c.anod} = 0.16 \Omega$$

4.7.1.2 Cálculo de la Resistencia de los cables alimentadores

$$R_{ca.} = L_{al_prom} \times \frac{R_{HMWPE}}{N_{alim}}$$

Donde:

$R_{ca.}$: resistencia cable alimentadores, en ohmios.

L_{al_prom} : longitud promedio de alimentadores, en metros.

N_{alim} : número de alimentadores.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en ohmio por kilómetro.

$$R_{ca.} = 5.7m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m} / 3$$

$$R_{ca.} = 0.04 \Omega$$

4.7.1.3 Cálculo de la Resistencia de la cinta anódica

$$R_{cinta} = L_{ca_prom} \times R_{lin_cinta} / N_{ip_inst}$$

Donde:

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

L_{ca_prom} : longitud promedio de alimentadores, en metros.

R_{lin_cinta} : resistencia cinta anódica Manual curso NACE CP4 en ohmio por metro.

$$R_{cinta} = 8.0 \text{ m} \times 0.105 \frac{\Omega}{\text{m}} / 10$$

$$R_{cinta} = 0.11 \Omega$$

4.7.1.4 Cálculo de la Resistencias de los ánodos puesto a tierra

$$R_{apa} = \rho_{arena} \times h / [L_{a_inst} \times (S_{a_inst} - W)] \times \text{LN}(S_{a_inst} / W)$$

Donde:

R_{apa} : resistencias de los ánodos puesto a tierra, en ohmios.

ρ_{arena} : resistividad del suelo, en ohmio por metro.

H: profundidad de la cinta anódica, en metros.

L_{a_inst} : longitud de la cinta a instalar, en metros.

S_{a_inst} : separación de la cintas anódicas, en metros.

W: ancho de la cinta anódica, catálogo ánodos TELPRO, en milímetros.

$$R_{apa} = 100 \Omega\text{-m} \times 0.3\text{m} / [80.3\text{m} \times (1.02\text{m} - 0.635\text{m})] \times \text{LN}(1.02\text{m}/0.635\text{m})$$

$$R_{apa} = 1.8\Omega$$

4.7.2 Cálculo de la Resistencias Catódica

$$R_c = R_{ca} + R_{cpat}$$

Donde:

R_c : resistencia catódica, en ohmios.

R_{ca} : resistencia del cable, en ohmios.

R_{cpat} : resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

$$R_c = 0.16 \Omega + 3.1 \Omega$$

$$R_c = 3.3 \Omega$$

4.7.2.1 Cálculo de la Resistencia de los cables

$$R_{ca} = L_{c.cat} \times R_{HMWPE}$$

Donde:

R_{ca} : resistencia del cable, en ohmios.

$L_{c.cat}$: longitud del cable catódico de acuerdo a plano de instalación, en metros.

R_{HMWPE} : resistencia del cable HMWPE AWG#8

$$R_{ca} = 76.0m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$R_{ca} = 0.16 \Omega$$

4.7.2.2 Cálculo del cátodo puesto a tierra

$$R_{cpat} = \rho_{arena} / (\pi \times D_r)$$

Donde:

R_{cpat} : resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

ρ_{arena} : resistividad del suelo, en ohmio por metro.

D_r : diámetro real, en metros.

$$R_{cpat} = 100 \Omega\text{-m} / (\pi \times 10.22m)$$

$$R_{cpat} = 3.1 \Omega$$

4.7.3 Cálculo de la Resistencia total

$$R_{tot} = R_a + R_c$$

Donde:

R_{tot} : resistencia total, en ohmios.

R_a : resistencia anódica, en ohmios.

R_c : resistencia catódica, en ohmios.

$$R_{tot} = 2.1 \Omega + 3.3 \Omega$$

$$R_{tot} = 5.4 \Omega$$

4.8. Cálculos de las Resistencias del Tanque Slop T-250

4.8.1 Cálculo de la Resistencia anódica

$$R_a = R_{c.anod} + R_{ca.} + R_{cinta} + R_{apat}$$

Donde:

R_a : resistencia anódica, en ohmios.

$R_{c.anod}$: resistencia del cable anódico, en ohmios.

$R_{ca.}$: resistencia cable alimentadores, en ohmios.

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

R_{apat} : resistencia de ánodos puesto a tierra, en ohmios.

$$R_a = 0.16\Omega + 0.04\Omega + 0.11\Omega + 1.8\Omega$$

$$R_a = 12.9\Omega$$

4.8.1.1 Cálculo de la Resistencia del cable anódico

$$R_{c.anod} = L_{c.anod} \times R_{HMWPE}$$

Donde:

$R_{c.anod}$ = resistencia del cable anódico, en ohmios.

$L_{c.anod}$ = longitud cable anódico, en metros.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en $\frac{\Omega}{km}$

$$R_{c.anod} = 128.0m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$R_{c.anod} = 0.27 \Omega$$

4.8.1.2 Cálculo de la Resistencia de los cables alimentadores

$$R_{ca.} = L_{al_prom} \times \frac{R_{HMWPE}}{N_{alim}}$$

Donde:

$R_{ca.}$: resistencia cable alimentadores, en ohmios.

L_{al_prom} : longitud promedio de alimentadores, en metros.

N_{alim} : número de alimentadores.

R_{HMWPE} = resistencia del cable de acuerdo a la tabla de cables HMWPE en ohmio por kilómetro.

$$R_{ca.} = 3.5m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m} / 3$$

$$R_{ca.} = 0.02 \Omega$$

4.8.1.3 Cálculo de la Resistencia de la cinta anódica

$$R_{cinta} = L_{ca_prom} \times R_{lin_cinta} / N_{ip_inst}$$

Donde:

R_{cinta} : resistencia de la cinta anódica, en ohmios.

L_{ca_prom} : longitud promedio de alimentadores, en metros.

R_{lin_cinta} : resistencia cinta anódica Manual curso NACE CP4 en ohmio por metro.

$$R_{cinta} = 4.5 \text{ m} \times 0.105 \frac{\Omega}{\text{m}} / 7$$

$$R_{cinta} = 0.11 \Omega$$

4.8.1.4 Cálculo de la Resistencias de los ánodos puesto a tierra

$$R_{apa} = \rho_{arena} \times h / [L_{a_inst} \times (S_{a_inst} - W)] \times \text{LN}(S_{a_inst} / W)$$

Donde:

R_{apa} : resistencias de los ánodos puesto a tierra, en ohmios.

ρ_{arena} : resistividad del suelo, en ohmio por metro.

H: profundidad de la cinta anódica, en metros.

L_{a_inst} : longitud de la cinta a instalar, en metros.

S_{a_inst} : separación de la cintas anódicas, en metros.

W: ancho de la cinta anódica, catálogo ánodos TELPRO, en milímetros.

$$R_{apa} = 300 \Omega\text{-m} \times 0.3\text{m} / [34.4\text{m} \times (0.89\text{m} - 0.635\text{m})] \times \text{LN}(0.89\text{m}/0.635\text{m})$$

$$R_{apa} = 12.5 \Omega$$

4.8.2 Cálculo de la Resistencias Catódica

$$R_c = R_{ca} + R_{cpat}$$

Donde:

R_c : resistencia catódica, en ohmios.

R_{ca} : resistencia del cable, en ohmios.

R_{cpat} : resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

$$R_c = 0.27 \Omega + 15.2 \Omega$$

$$R_c = 15.5 \Omega$$

4.8.2.1 Cálculo de la Resistencia de los cables

$$R_{ca-} = L_{c.cat} \times R_{HMWPE}$$

Donde:

R_{ca-} : resistencia del cable, en ohmios.

$L_{c.cat}$: longitud del cable catódico de acuerdo a plano de instalación, en metros.

R_{HMWPE} : resistencia del cable HMWPE AWG#8

$$R_{ca-} = 128.0m \times 2.1 \frac{\Omega}{km} \times \frac{1km}{1000m}$$

$$R_{ca-} = 0.27 \Omega$$

4.8.2.2 Cálculo del cátodo puesto a tierra

$$R_{cpat} = \rho_{arena} / (\pi \times D_r)$$

Donde:

R_{cpat} : resistencia del cátodo puesto a tierra, en ohmios.

ρ_{arena} : resistividad del suelo, en ohmio por metro.

D_r : diámetro real, en metros.

$$R_{cpat} = 300 \Omega\text{-m} / (\pi \times 6.26m)$$

$$R_{cpat} = 15.2 \Omega$$

4.8.3 Cálculo de la Resistencia total

$$R_{\text{tot}} = R_a + R_c$$

Donde:

R_{tot} : resistencia total, en ohmios.

R_a : resistencia anódica, en ohmios.

R_c : resistencia catódica, en ohmios.

$$R_{\text{tot}} = 12.9 \, \Omega + 15.5 \, \Omega$$

$$\mathbf{R_{\text{tot}} = 28.4 \, \Omega}$$

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los ánodos que fueron seleccionados para la protección catódica de los tanques de almacenamiento (Ti – Oxidos metálicos) 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.
- La utilización de una cinta de titanio activado cubriendo el exterior de la estructura de hormigón de los tanques, proporcionará un reparto de corriente uniforme. La cinta se colocará en función de la densidad de corriente de diseño sobre la superficie de acero y en función de la proporción acero/hormigón.
- El principal coste en las instalaciones de un sistema de protección catódica mediante la colocación de malla / cinta de titanio, lo forman los trabajos de obra civil, especialmente en los casos de reparaciones, siendo el coste del material de un 20% del coste total de la instalación de protección catódica.
- Es primordial que el almacenamiento de hidrocarburos cumpla con todos los procedimientos de seguridad en lo que se refiere a la protección catódica de los tanques, ya que una falla podría significar derrames y/o incendios (debido a rupturas del metal por corrosión).

- La corrosión es un proceso ocasionado principalmente por acción de la naturaleza por lo que no se lo puede detener pero si contrarrestar utilizando las técnicas adecuadas.
- La corrosión, se genera por diferentes mecanismos, influenciados por el medio, esfuerzos mecánicos, condiciones de flujo y tipo de material y el daño asociado se presenta de diferentes formas, ya sea con pérdida de material de manera uniforme, o bien con daño localizado, como picaduras y/o agrietamiento.
- La protección catódica consiste en reducir o eliminar la corrosión de un metal, haciendo que, la superficie de este, funcione completamente como cátodo cuando se encuentra sumergido o enterrado en un electrólito”.
- La determinación para saber si una estructura se encuentra adecuadamente protegida, generalmente se basa en una medida de la FEM (voltaje) entre la estructura y un electrodo de referencia
- La elección de un ánodo no se hace solamente en base a su consumo o a la densidad de corriente que puede proporcionar; hay que tener en cuenta, además, sus propiedades de resistencia mecánica, su resistencia a la erosión, su facilidad de instalación, el tiempo de sustitución e incluso su disponibilidad en el mercado.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es necesario aislar a los tanques de almacenamiento por medio de la instalación de juntas aislantes en toda conexión mecánica que ingrese al tanque, con el objetivo de asegurar un buen desempeño del sistema catódico externo, y evitar la entrada de corrientes parásitas.
- Se debe realizar una inspección anual de todo el sistema de protección catódica por personal calificado, haciendo pruebas en los rectificadores, cajas unión, así como medición de potenciales en celdas de referencia, potencial natural, potencial ON y potencial OFF.
- Realizar inspecciones visuales de los medidores de potencial periódicamente.
- Hay que tener especial cuidado en un tipo de corrosión que es la corrosión localizada; esta consiste en el deterioro del metal en un punto específico del equipo y no en un daño uniforme como ocurre en la corrosión generalizada. Al existir daño en una zona o punto específico, es más difícil de detectar.
- Los efectos de factores, como son: la temperatura, tipo del líquido, la concentración del oxígeno, la acción bacteriológica, etc., pueden ser tomados en cuenta en cierto grado al seleccionar el valor apropiado de los potenciales de los electrodos, así como también, las resistencias de polarización si se conocen las constantes apropiadas.
- Hay que tomar en cuenta las características del suelo donde se encuentra el equipo a proteger ya que afectan sustancialmente el

tipo y velocidad de corrosión de una estructura en su contacto. El contenido de humedad, el pH, la concentración de oxígeno y otros factores interactúan de manera compleja, influyendo en la corrosión.

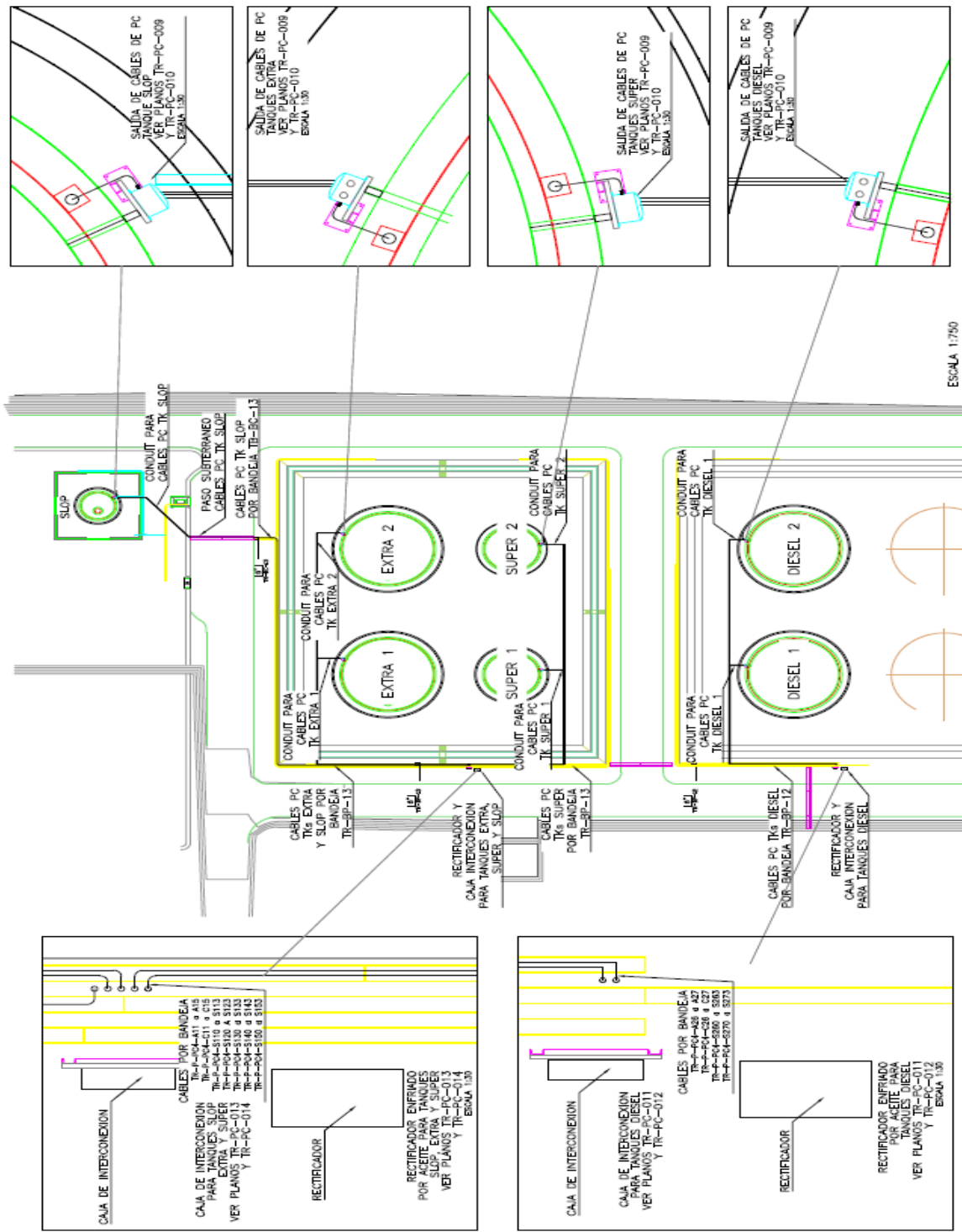
- En sistemas de protección catódica por corriente impresa, cuando se necesitan intensidades altas de corriente, resulta más económico utilizar rectificadores alimentados con corriente trifásica de 380 V.
- Para lograr una protección lo más económica posible, hay que optimizar del número y dimensiones de los ánodos, en relación con la mayor o menor resistencia total que se determine, lo que se reflejará en la potencia del generador o fuente de corriente continua y en su costo de instalación.

6. BIBLIOGRAFÍA

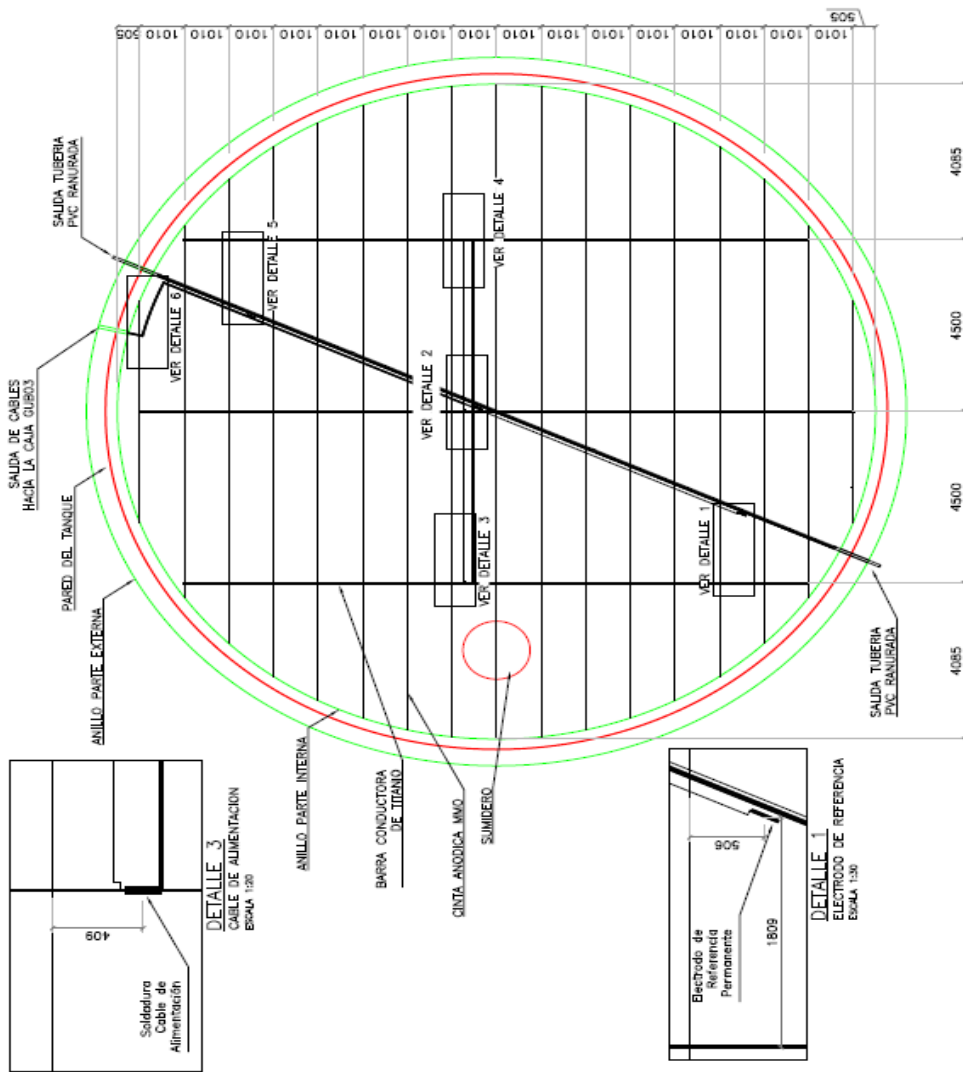
- API práctica recomendada 651 Segunda edición, Noviembre 1997 “Protección catódica para tanques de almacenamiento instalados sobre el terreno (Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks)
- API Estándar 653 Tercera edición, Diciembre 2001 “Inspección, reparación, modificación y reconstrucción de tanques de almacenamiento, (API Standard 653 Third edition, December 2001 Tank inspection, repair, alteration, and reconstruction)
- BARDAL Einar Corrosion and Protection. Engineering materials and processes. Editorial Springer. 2003
- Hanson Survey & Design, Protección Catódica para fondos de tanques de almacenamiento “CATHODIC PROTECTION ON STORAGE TANKS BOTTOMS”
- NACE Estándar RP0572-2001 “Prácticas de estándares recomendados Estándar de Prácticas recomendadas para el diseño, instalación, operación y mantenimiento de corriente impresa en encamados profundos. (NACE Standard RP0572-2001 Standard recommended practice, design, installation, operation, and maintenance of impressed current deep groundbeds)
- NACE Standard Recommended Practice, standard RP 019-93 “External Cathodic Protection of On-Grade Metallic Storage Tank Bottoms.

- MIÑO Edgar, (2011), Diseño del Sistema de Protección Catódica por corriente impresa en Líneas de Pipetrack en la Refinería de La Libertad (RLL) contra la Corrosión, Ecuador.
- RAMOS Fausto M.Sc. Curso de Control, de la Corrosion en Operaciones de Producción de Petróleo. UTE. 2010
- RIERA, Roselby, Ciencia de los materiales, corrosión [en línea] [consultado sábado 12 de julio de 2014] Disponible en: <<http://cma403.blogspot.com/2008/07/corrosin.html>>
- ROBERGE Pierre. (2000), Handbook of Corrosion Engineering. Editorial Mc Graw- Hill.
- Tipos de corrosión, [en línea] [consultado sábado 5 de julio de 2014] disponible en: <<http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos>>

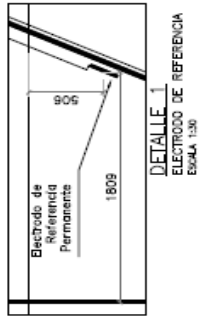
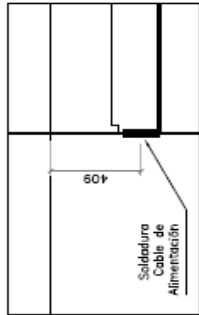
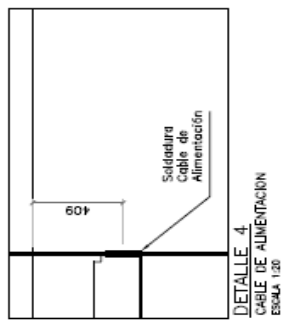
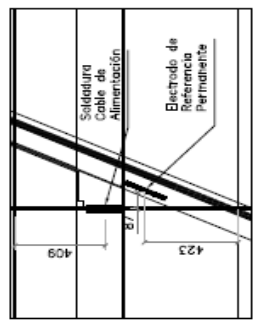
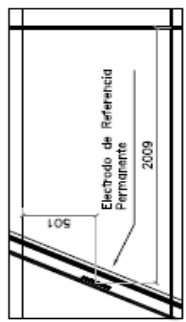
7. ANEXOS



Diseño general del sistema de protección catódica
PETROECUADOR

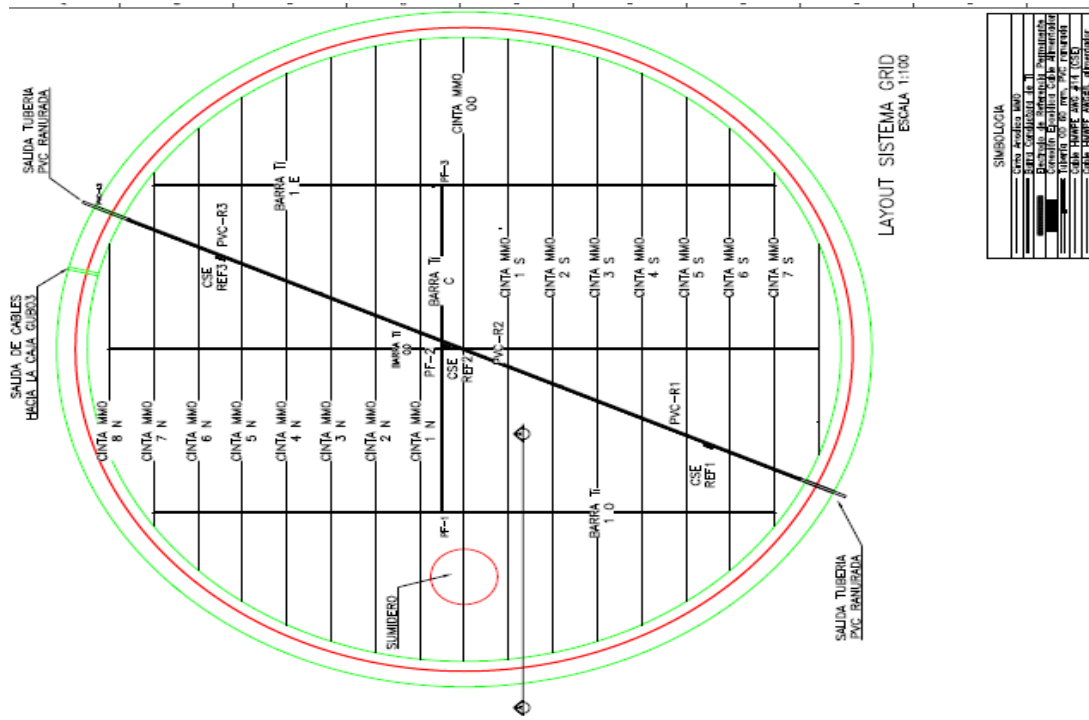


LAYOUT SISTEMA GRID
ESCALA 1:100

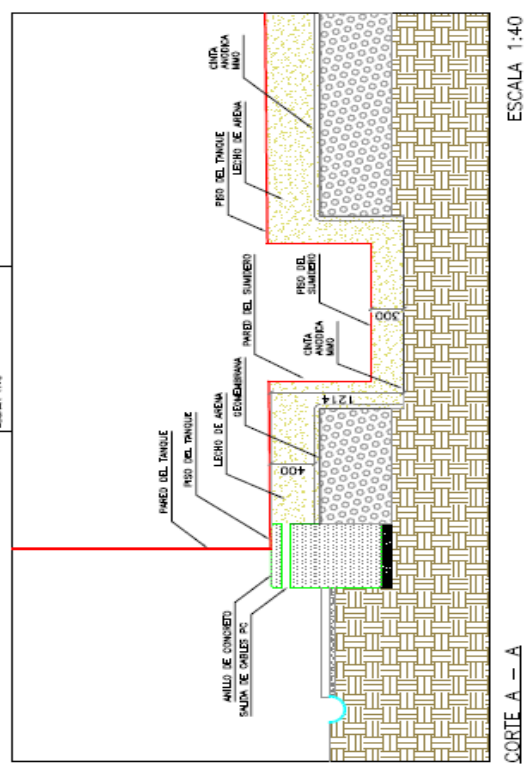
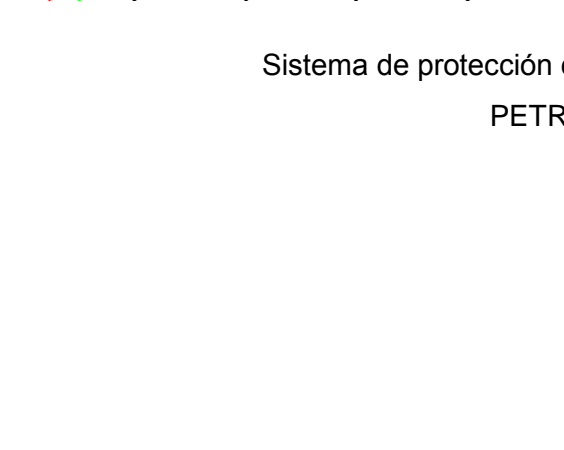


SIMBOLOGIA	
[Symbol]	Cable Alimentación
[Symbol]	Electrodo de Referencia Permanente
[Symbol]	Cable de Alimentación
[Symbol]	Cable de Referencia
[Symbol]	Cable de Alimentación
[Symbol]	Cable de Referencia

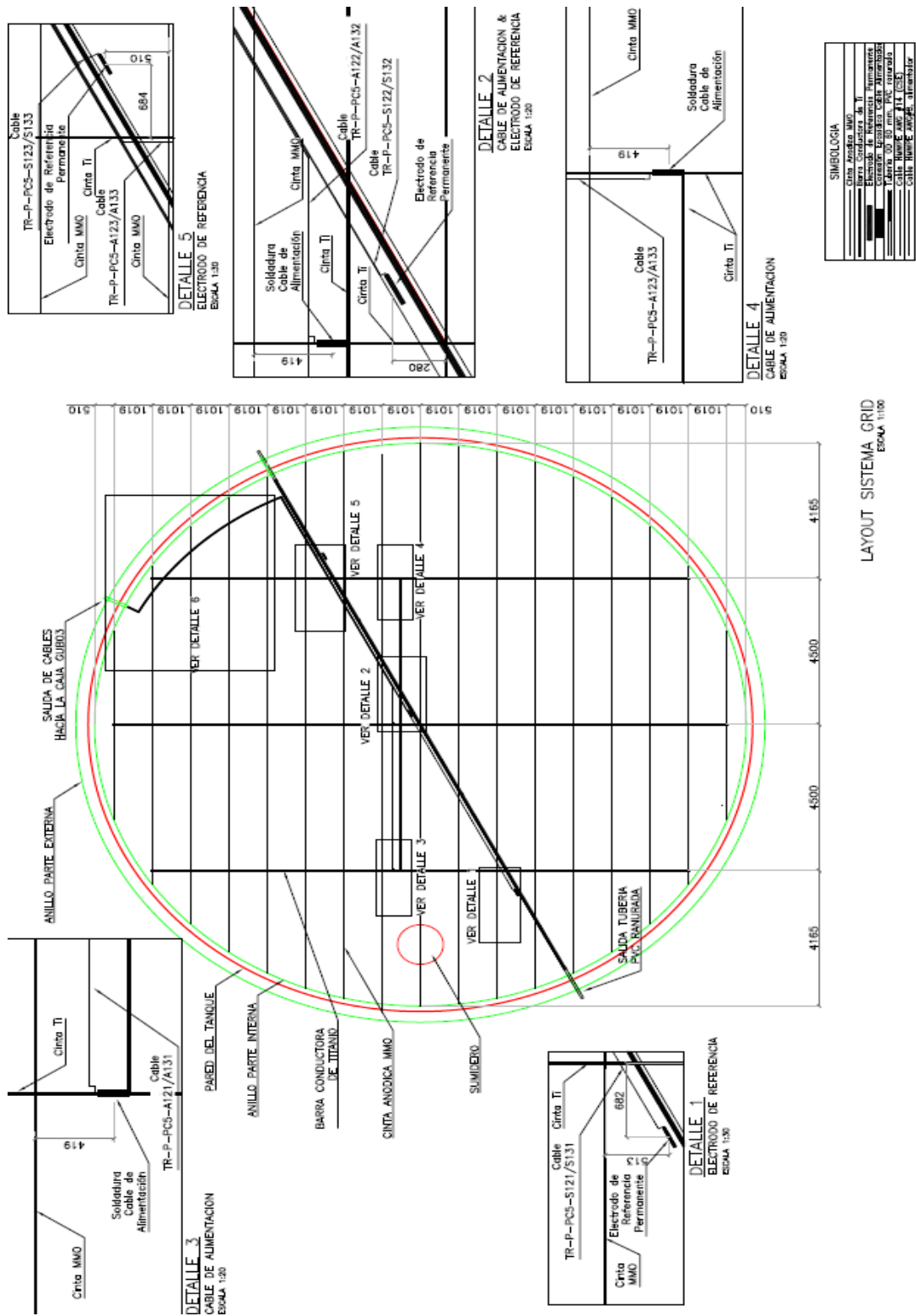
Sistema de protección catódica (Tanques Diesel)
PETROECUADOR



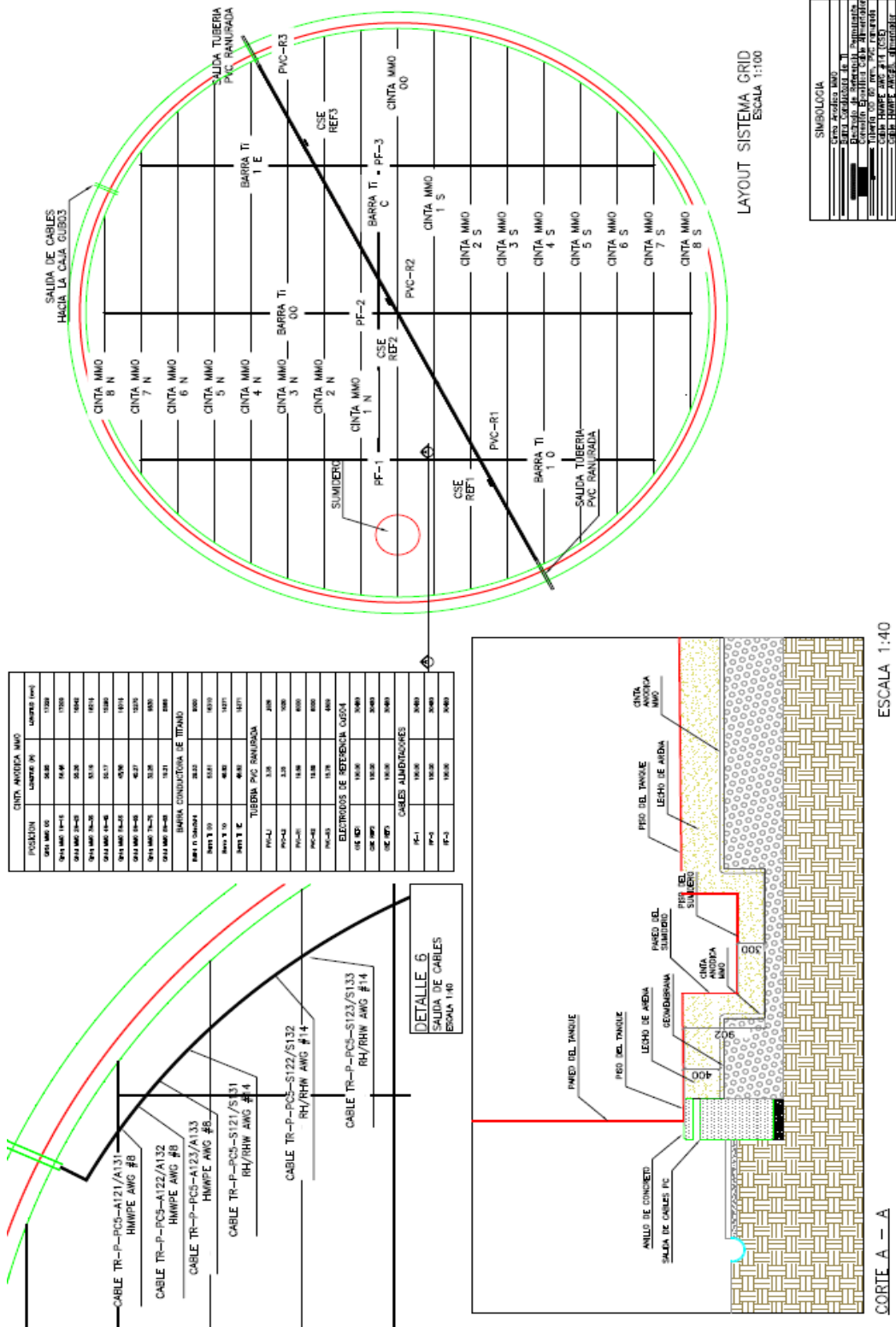
CINTA ANODICA MMO	
POSICION	Longitud (m) Cantidad (mm)
Cinta MMO 00	56.85 171.99
Cinta MMO 1N-1S	364.48 17000
Cinta MMO 2N-2S	55.28 16887
Cinta MMO 3N-3S	53.19 16664
Cinta MMO 4N-4S	51.17 15449
Cinta MMO 5N-5S	45.68 13884
Cinta MMO 6N-6S	42.27 12181
Cinta MMO 7N-7S	32.25 8740
Cinta MMO 8N-8S	19.21 5862
BARRA CONDUCTORA DE TITANIO	
Barra TI Sanchavez	28.53 8000
Barra TI 100	53.51 16109
Barra TI 10	46.82 14139
Barra TI 1E	46.82 14139
TUBERIA PVC RANURADA	
PVC-L1	3.74 1140
PVC-L2	3.74 1140
PVC-R1	19.69 6000
PVC-R2	19.69 6000
PVC-R3	15.79 4800
ELECTRODOS DE REFERENCIA CUSCA	
CSE REFT	100.00 30480
CSE REF2	100.00 30480
CSE REF3	100.00 30480
CABLES ALIMENTADORES	
IP-1	100.00 30480
IP-2	100.00 30480
IP-3	100.00 30480



Sistema de protección catódica (Tanques Diesel)
 PETROECUADOR

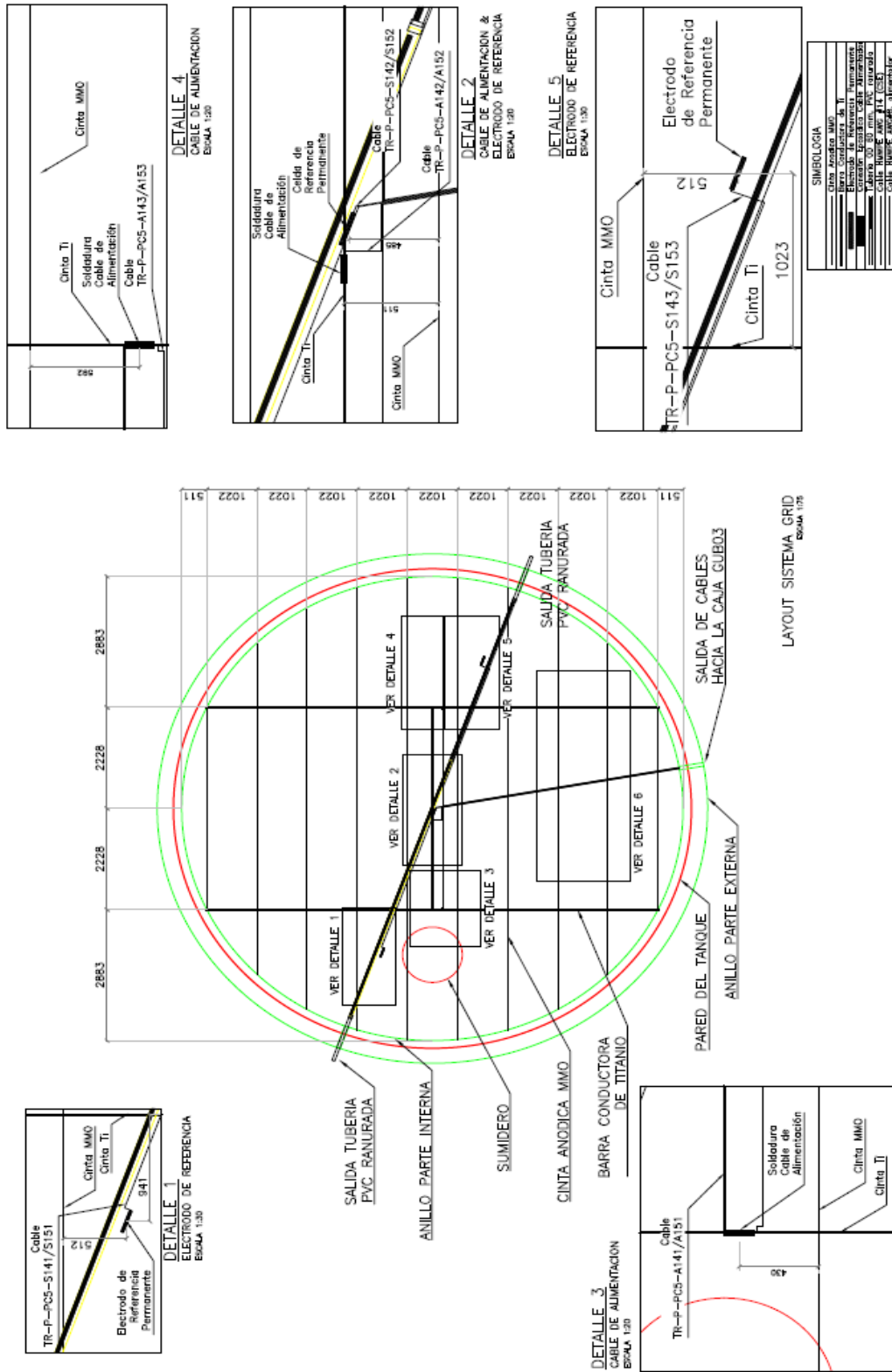


Sistema de protección catódica (Tanques Extra)
PETROECUADOR



Sistema de protección catódica (Tanques Extra)

PETROECUADOR



Sistema de protección catódica (Tanques Super)
PETROECUADOR

TR-P-PCS-A141/A151 CABLE HMWPE AWG #8	TR-P-PCS-S143/S153 CABLE RH/RHW AWG #14
TR-P-PCS-A142/A152 CABLE HMWPE AWG #8	TR-P-PCS-S142/S152 CABLE RH/RHW AWG #14
TR-P-PCS-A143/A153 CABLE HMWPE AWG #8	TR-P-PCS-S141/S151 CABLE RH/RHW AWG #14

DETALLE 6
SALIDA DE CABLES
ESCALA 1:40

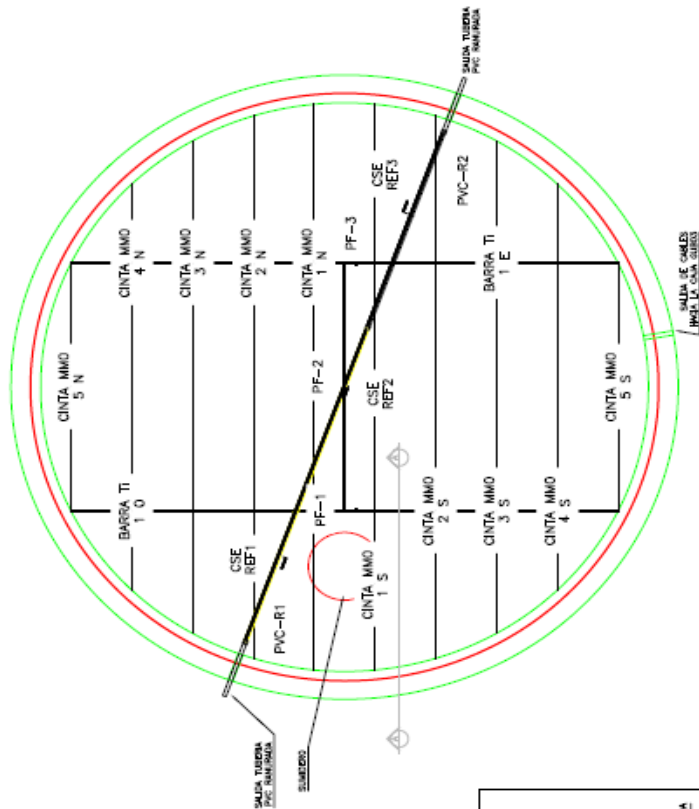
CINTA ANCOJA MMO	
POSICION	LONGITUD (M)
CINTA MMO 10-S	25.00
CINTA MMO 10-N	9.91
CINTA MMO 20-S	15.78
CINTA MMO 20-N	8.83
CINTA MMO 40-S	16.17
CINTA MMO 40-N	8.83

BARRA TI	
TIPO	LONGITUD (M)
BARRA TI 10	25.00
BARRA TI 15	9.91
BARRA TI 20	15.78
BARRA TI 30	16.17
BARRA TI 40	16.17

TUBERIA PVC MANIPULADA	
TIPO	LONGITUD (M)
PVC-L	2.00
PVC-L	3.00
PVC-L	10.00
PVC-L	10.00
PVC-L	10.00

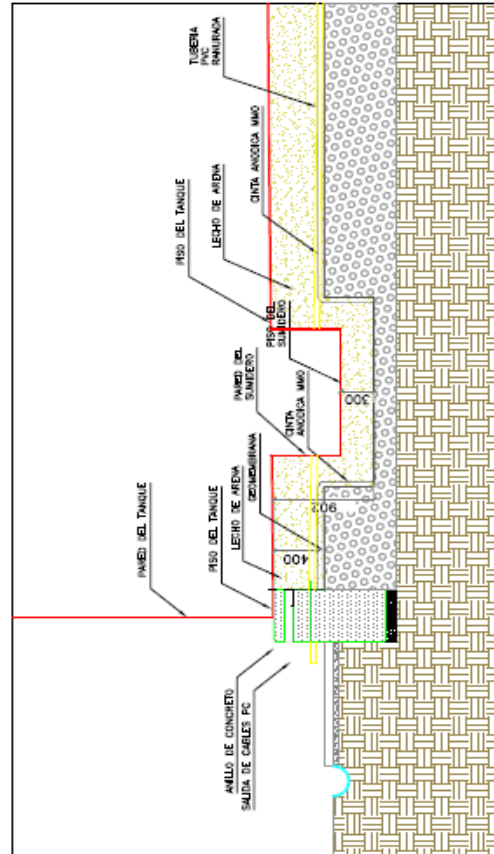
ELECTRODOS DE RESISTENCIA CUSO4	
TIPO	LONGITUD (M)
REF-1	10.00
REF-2	10.00
REF-3	10.00

CABLES ALIMENTADORES	
TIPO	LONGITUD (M)
PC-1	10.00
PC-2	10.00
PC-3	10.00



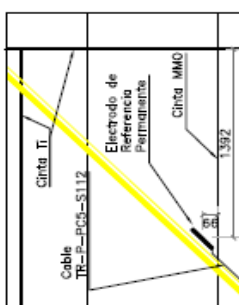
LAYOUT SISTEMA GRID
ESCALA 1:75

SIMBOLOGIA	
[Symbol]	Cable Ancoja MMO
[Symbol]	Tuberia PVC Manipulada
[Symbol]	Barra de Ardena
[Symbol]	Electrodo de Resistencia CUSO4
[Symbol]	Cable Alimentador
[Symbol]	Cable HMWPE AWG #8
[Symbol]	Cable HMWPE AWG #14

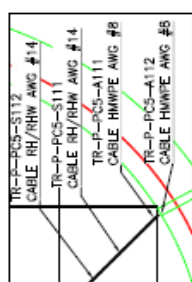


CORTE A - A
ESCALA 1:40

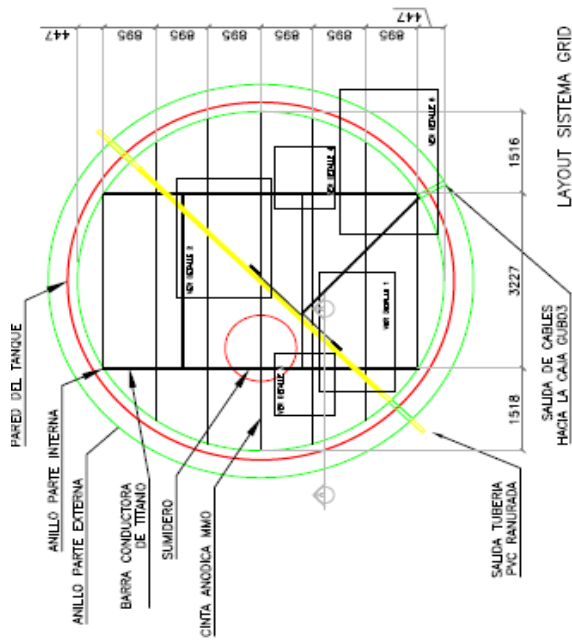
Sistema de protección catódica (Tanques Super)
PETROECUADOR



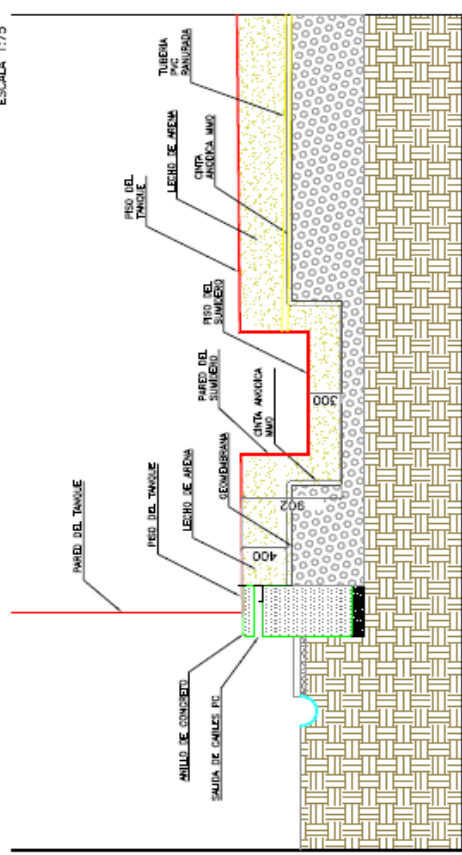
DETALLE 1
ELECTRODO DE REFERENCIA
ESCALA 1:30



DETALLE 6
SALIDA DE CABLES
ESCALA 1:40



LAYOUT SISTEMA GRID
ESCALA 1:75



CORTE A - A
ESCALA 1:40

POSICION	CANTIDAD	UNIDAD	ESPECIFICACION
CINTA ANODICA MMO			
MMO-1	100.00	M	MMO-1
MMO-2	100.00	M	MMO-2
MMO-3	100.00	M	MMO-3
MMO-4	100.00	M	MMO-4
MMO-5	100.00	M	MMO-5
MMO-6	100.00	M	MMO-6
MMO-7	100.00	M	MMO-7
MMO-8	100.00	M	MMO-8
MMO-9	100.00	M	MMO-9
MMO-10	100.00	M	MMO-10
MMO-11	100.00	M	MMO-11
MMO-12	100.00	M	MMO-12
MMO-13	100.00	M	MMO-13
MMO-14	100.00	M	MMO-14
MMO-15	100.00	M	MMO-15
MMO-16	100.00	M	MMO-16
MMO-17	100.00	M	MMO-17
MMO-18	100.00	M	MMO-18
MMO-19	100.00	M	MMO-19
MMO-20	100.00	M	MMO-20
MMO-21	100.00	M	MMO-21
MMO-22	100.00	M	MMO-22
MMO-23	100.00	M	MMO-23
MMO-24	100.00	M	MMO-24
MMO-25	100.00	M	MMO-25
MMO-26	100.00	M	MMO-26
MMO-27	100.00	M	MMO-27
MMO-28	100.00	M	MMO-28
MMO-29	100.00	M	MMO-29
MMO-30	100.00	M	MMO-30
MMO-31	100.00	M	MMO-31
MMO-32	100.00	M	MMO-32
MMO-33	100.00	M	MMO-33
MMO-34	100.00	M	MMO-34
MMO-35	100.00	M	MMO-35
MMO-36	100.00	M	MMO-36
MMO-37	100.00	M	MMO-37
MMO-38	100.00	M	MMO-38
MMO-39	100.00	M	MMO-39
MMO-40	100.00	M	MMO-40
MMO-41	100.00	M	MMO-41
MMO-42	100.00	M	MMO-42
MMO-43	100.00	M	MMO-43
MMO-44	100.00	M	MMO-44
MMO-45	100.00	M	MMO-45
MMO-46	100.00	M	MMO-46
MMO-47	100.00	M	MMO-47
MMO-48	100.00	M	MMO-48
MMO-49	100.00	M	MMO-49
MMO-50	100.00	M	MMO-50
MMO-51	100.00	M	MMO-51
MMO-52	100.00	M	MMO-52
MMO-53	100.00	M	MMO-53
MMO-54	100.00	M	MMO-54
MMO-55	100.00	M	MMO-55
MMO-56	100.00	M	MMO-56
MMO-57	100.00	M	MMO-57
MMO-58	100.00	M	MMO-58
MMO-59	100.00	M	MMO-59
MMO-60	100.00	M	MMO-60
MMO-61	100.00	M	MMO-61
MMO-62	100.00	M	MMO-62
MMO-63	100.00	M	MMO-63
MMO-64	100.00	M	MMO-64
MMO-65	100.00	M	MMO-65
MMO-66	100.00	M	MMO-66
MMO-67	100.00	M	MMO-67
MMO-68	100.00	M	MMO-68
MMO-69	100.00	M	MMO-69
MMO-70	100.00	M	MMO-70
MMO-71	100.00	M	MMO-71
MMO-72	100.00	M	MMO-72
MMO-73	100.00	M	MMO-73
MMO-74	100.00	M	MMO-74
MMO-75	100.00	M	MMO-75
MMO-76	100.00	M	MMO-76
MMO-77	100.00	M	MMO-77
MMO-78	100.00	M	MMO-78
MMO-79	100.00	M	MMO-79
MMO-80	100.00	M	MMO-80
MMO-81	100.00	M	MMO-81
MMO-82	100.00	M	MMO-82
MMO-83	100.00	M	MMO-83
MMO-84	100.00	M	MMO-84
MMO-85	100.00	M	MMO-85
MMO-86	100.00	M	MMO-86
MMO-87	100.00	M	MMO-87
MMO-88	100.00	M	MMO-88
MMO-89	100.00	M	MMO-89
MMO-90	100.00	M	MMO-90
MMO-91	100.00	M	MMO-91
MMO-92	100.00	M	MMO-92
MMO-93	100.00	M	MMO-93
MMO-94	100.00	M	MMO-94
MMO-95	100.00	M	MMO-95
MMO-96	100.00	M	MMO-96
MMO-97	100.00	M	MMO-97
MMO-98	100.00	M	MMO-98
MMO-99	100.00	M	MMO-99
MMO-100	100.00	M	MMO-100

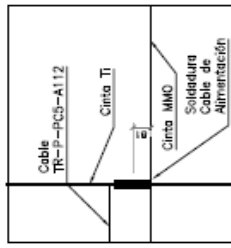
Sistema de protección catódica (Tanques Slop)

PETROECUADOR

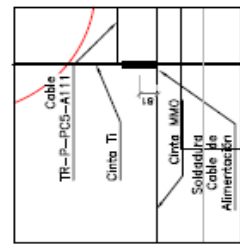
SIMBOLOGIA

	Cable TR-P-PCS-S111
	Electrodo de Referencia Permanente
	Cinta MMO
	Cinta TI
	Soldadura Cable de Alimentación
	Cable HMMPE AWG #14
	Cable HMMPE AWG #11
	Cable HMMPE AWG #12
	Cable HMMPE AWG #8
	Cable HMMPE AWG #6
	Cable HMMPE AWG #5

DETALLE 2
CABLE DE ALIMENTACION &
ELECTRODO DE REFERENCIA
ESCALA 1:30

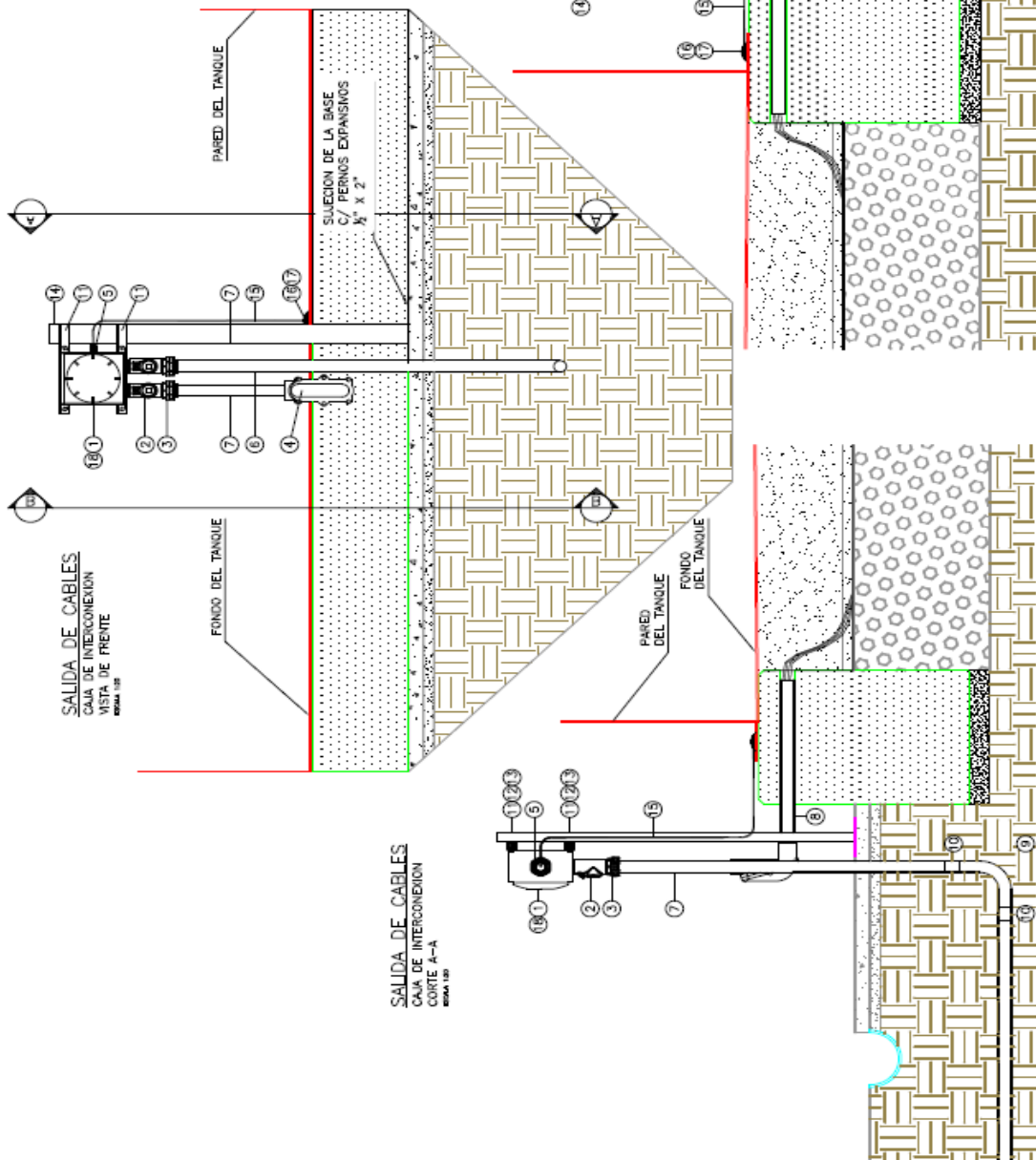


DETALLE 4
CABLE DE ALIMENTACION
ESCALA 1:30

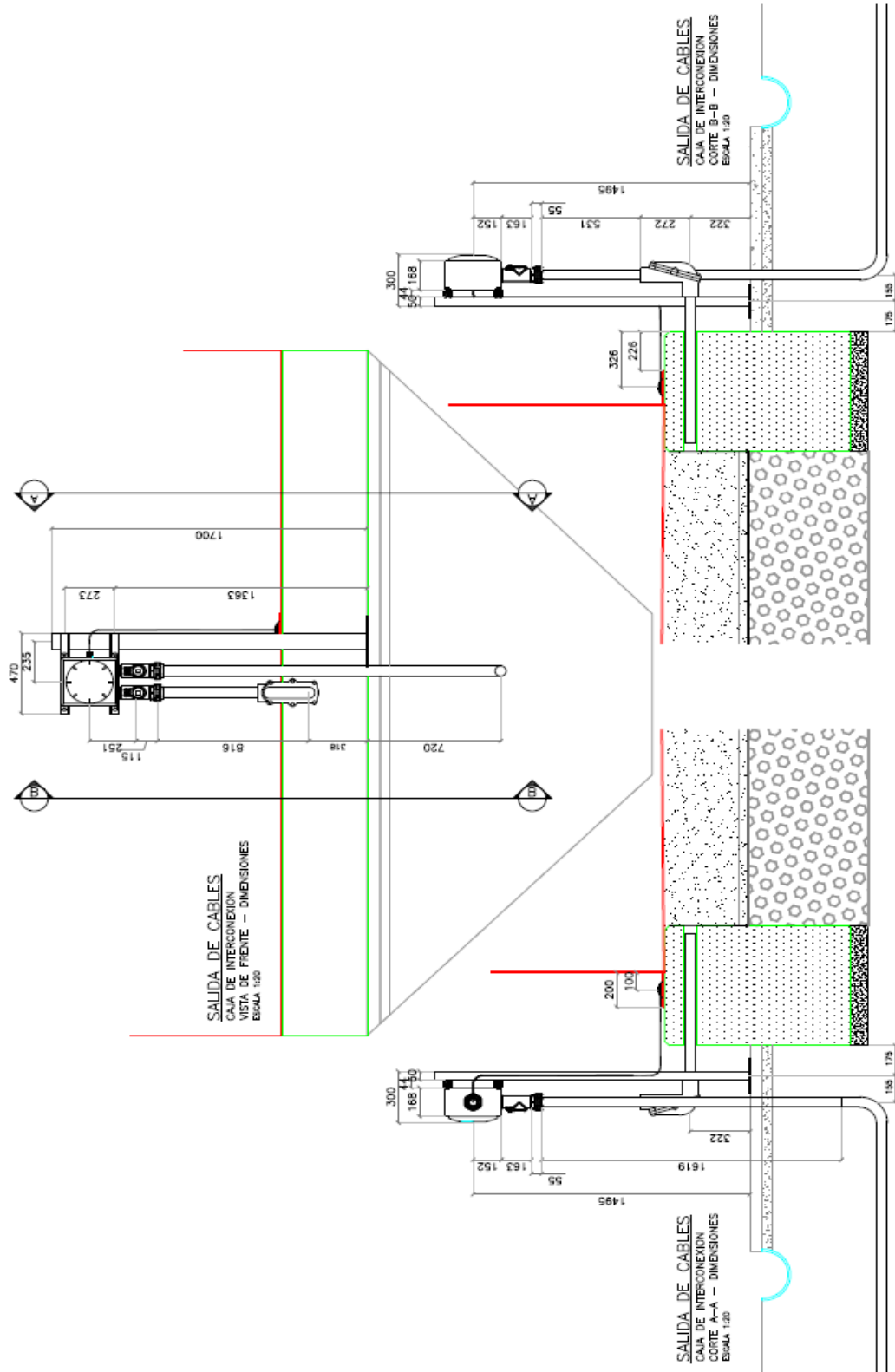


DETALLE 3
CABLE DE ALIMENTACION
ESCALA 1:30

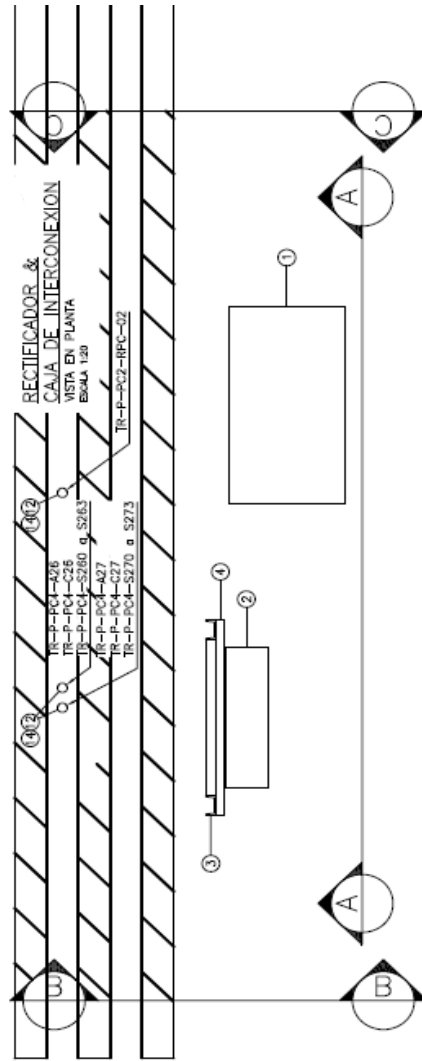
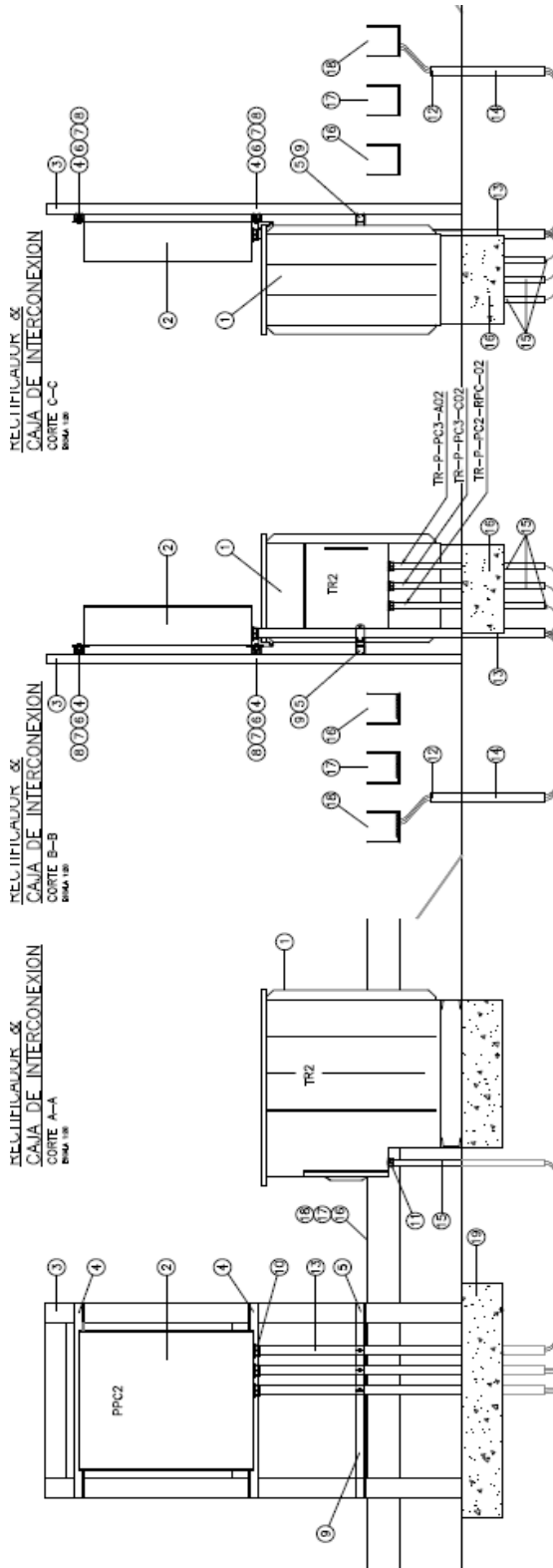
1	UNION BOX CUERO-101-0040020	UNI	7	
2	SELADOR VERTICAL ENRIE	CRUISE HNDS	UNI	14
3	UNION MACHO Cordado-Juncon Box UNHDS	CRUISE HNDS	UNI	14
4	CURVA 90° LARGO CRUISE HNDS	CRUISE HNDS	UNI	7
5	CONECTOR RECTO TACKTLOS	CRUISE HNDS	UNI	7
6	CONDUIT RIBED 8 2" - TRAMO 300 mm	CRUISE HNDS	UNI	7
7	CONDUIT RIBED 8 2" - TRAMO 870 mm	CRUISE HNDS	UNI	7
8	CONDUIT RIBED 8 2" - TRAMO 300 mm	CRUISE HNDS	UNI	7
9	COUDO RIBED LARGO CONDUIT 8 2"	CRUISE HNDS	UNI	7
10	UNION CONDUIT 8 2"	CRUISE HNDS	UNI	14
11	CANAL ESTRUCTURAL PROFUNDADO C/3TA	M	6	
12	TIERRA MOVEDA REF. N° X 1"	UNI	26	
13	TIERRA MOVEDA CON RESORTE N°	UNI	26	
14	REFIL. HERRIO GALVANIZADO UPN 100	M	12	
15	CAILE HERRIO ANCHOR	M	21	
16	BALANZADA CANTIDAD 15 9"	UNI	7	
17	HANDY COP ROYSTER	UNI	7	
18	SUB PANEL DE CONCRETO PARA CUERO	UNI	2	



Caja de conexionado del Sistema de protección catódica (Tanque Diesel)
 PETROECUADOR



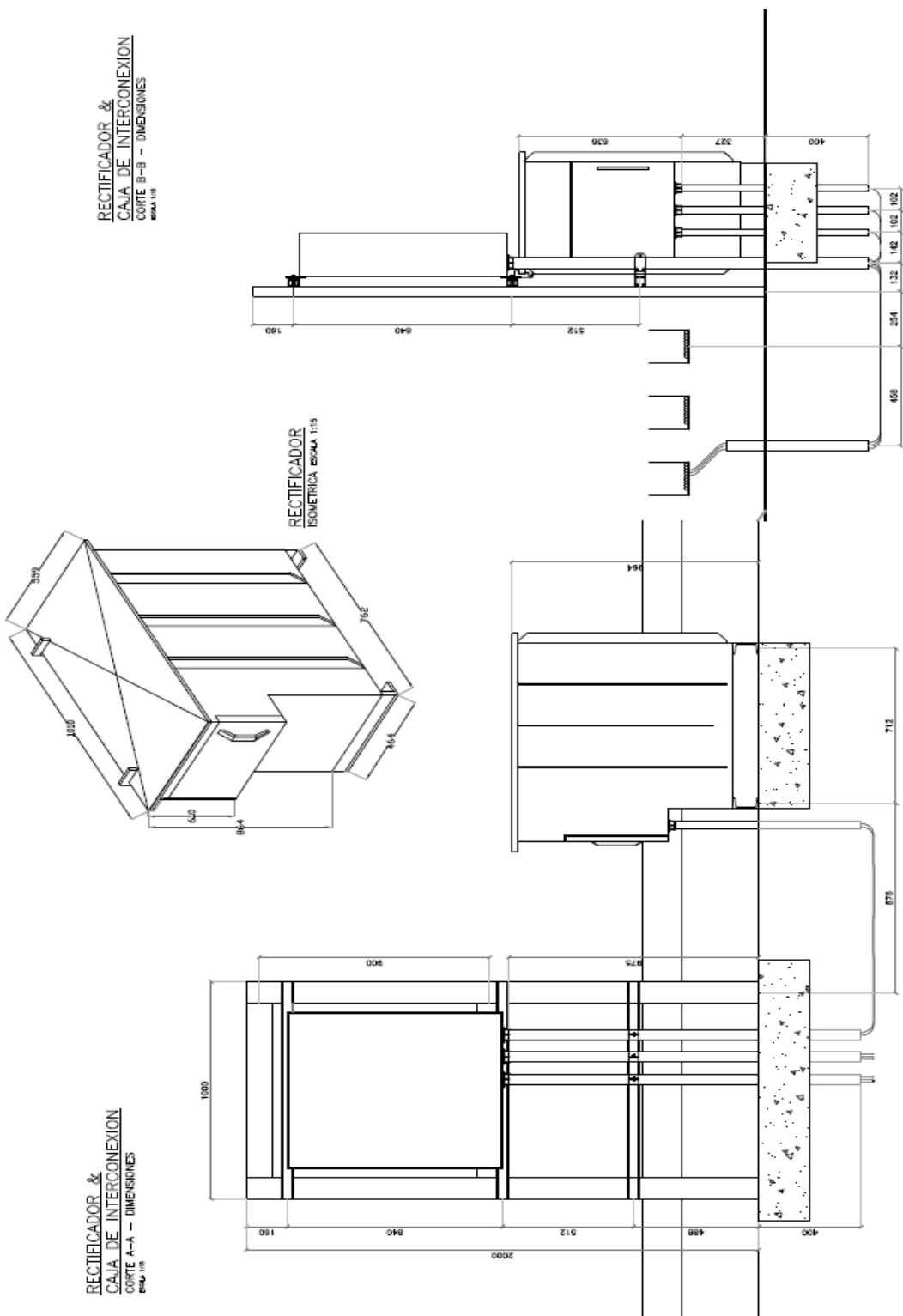
Caja de conexionado del Sistema de protección catódica (Tanque Diesel)
PETROECUADOR



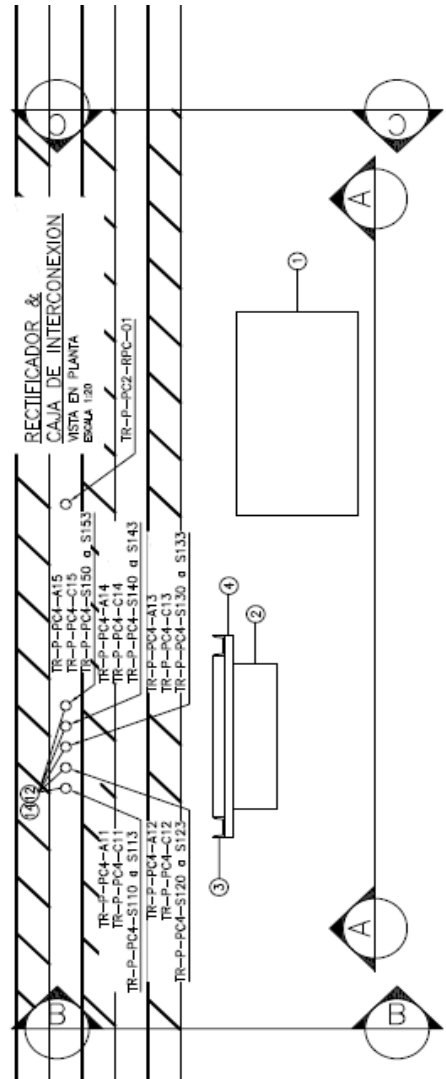
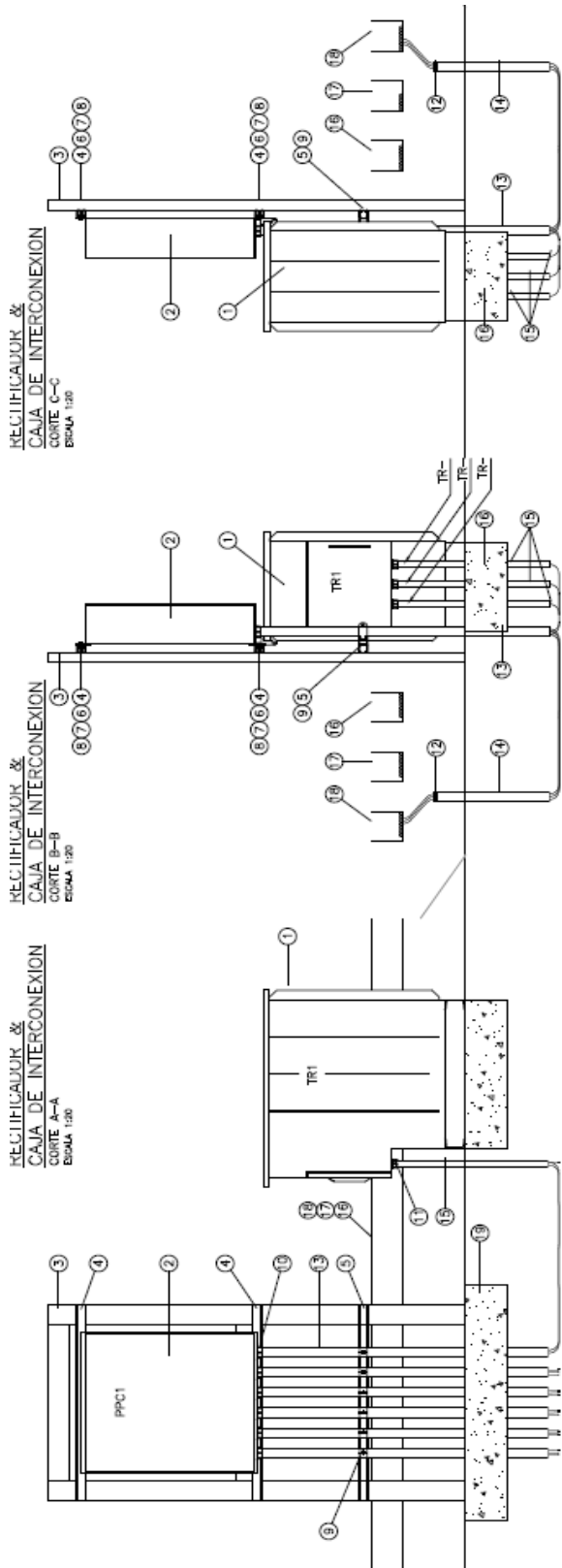
LISTADO DE MATERIALES

1	RECTIFICADOR EMPUJADO EN AIRETE MONOFASICO, REGULADOR MANUAL, 500V-25A	UN	1
2	CAJA DE INTERCONEXION TIPO NDM 3R	UN	1
3	ESTRUCTURA CON PERFILES UNM 100, PARA SOPORTAR CAJA DE INTERCONEXION	UN	1
4	CANAL ESTRUCTURAL TRONQUEADO C/STS	M	3
5	CANAL ESTRUCTURAL LISO COMBINADO C/TA	M	1,5
6	FERRIS CARREA HEX 3/8" X 1" GALVANIZADO	UN	6
7	TUBERIA MORDAZA CON RESORTE 3/8"	UN	6
8	RODILLA PLANA 3/8" GALVANIZADA	UN	6
9	ARRANQUE ALUMINICO PARA CONDUIT 3/4"	UN	3
10	PIE WERNER STG-5 3/8" X 1 1/2" CROUSE HINDS	UN	3
11	PIE WERNER STG-3 3/8" X 1 1/2" CROUSE HINDS	UN	3
12	INSULATED THERM BUSHINGS 1035 3/8" X 1 1/2"	UN	2
13	CONDUIT RIGIDO 3/4" - TRAMPO 1400 mm	UN	3
14	CONDUIT RIGIDO 3/4" - TRAMPO 500 mm	UN	2
15	CONDUIT RIGIDO 3/4" - TRAMPO 750 mm	UN	3
16	BANDEJA 5" TR-4H-05		
17	BANDEJA 5" TR-4H-11		
18	BANDEJA 5" TR-4H-12		
19	BASE DE CONCRETO, ESPESOR 200 mm		

Rectificador del Sistema de protección catódica (Tanque Diesel)
PETROECUADOR



Rectificador del Sistema de protección catódica (Tanque Diesel)
PETROECUADOR

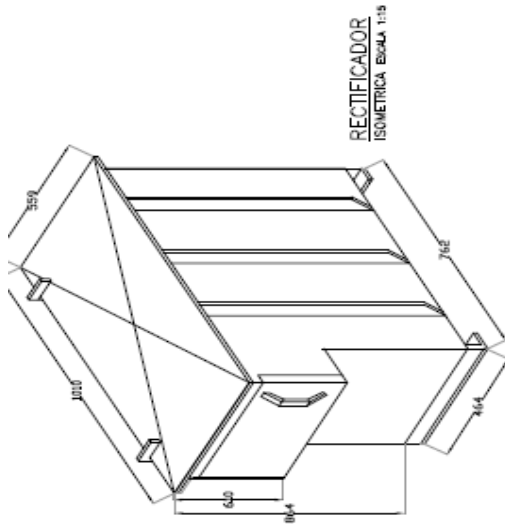


LISTADO DE MATERIALES

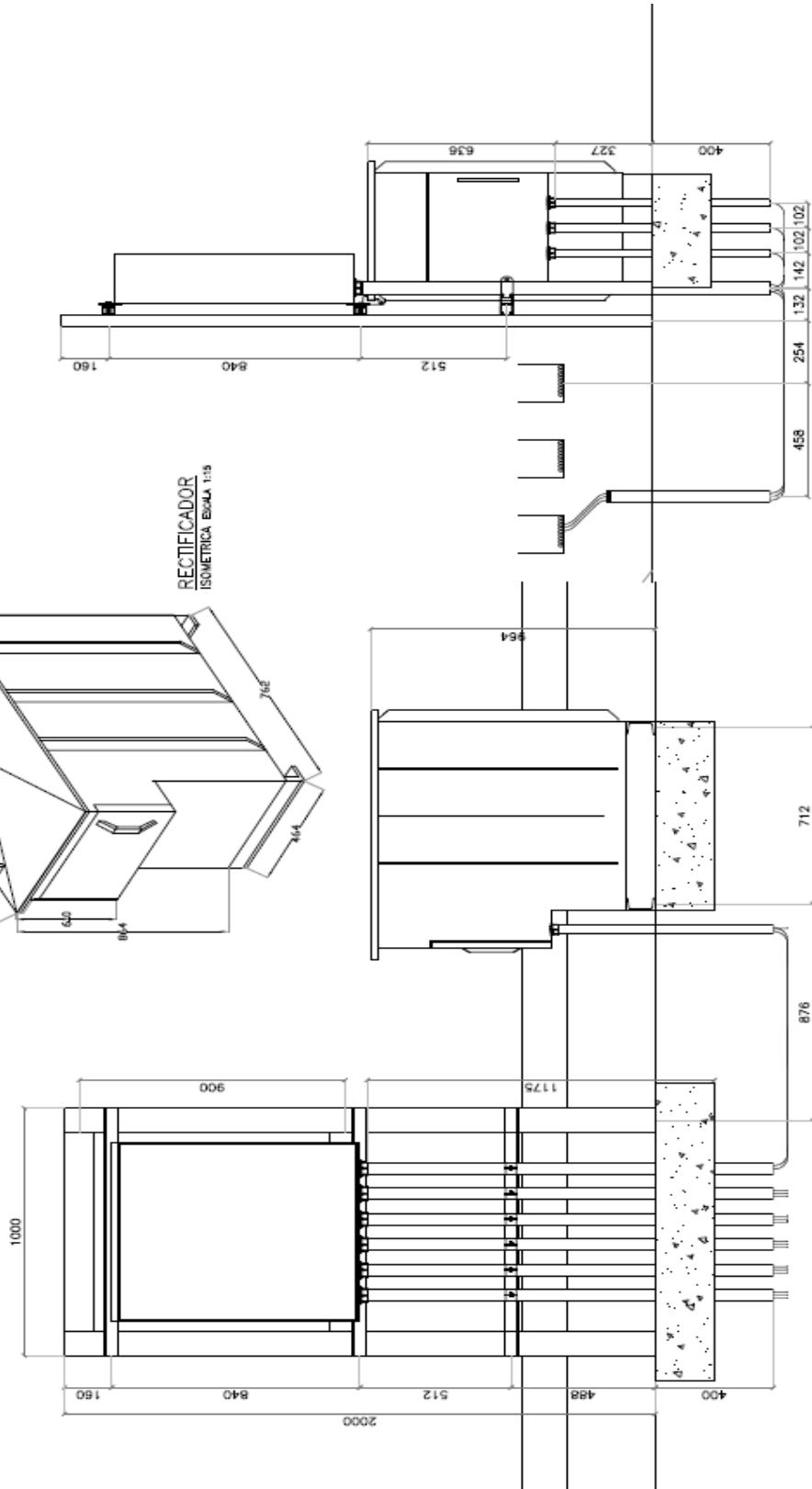
1	RECTIFICADOR CONTROLADO EN AZÚCAR MONOFÁSICO, REGULADOR MANUAL, 60V-250V	UM	1
2	CAJA DE INTERCONEXIÓN TIPO NEMA 3R	UM	1
3	ESTRUCTURA CON REJERES UN. 100, PARA SOPORTAR CABLES DE INTERCONEXIÓN	UM	1
4	CANAL ESTRUCTURAL PROTEGIDO C/PTP	M	3
5	CANAL ESTRUCTURAL USO COMBINADO C/ISA	M	1,5
6	PERNO CARRERA 1/2" x 1" GALVANIZADO	UM	6
7	TUBERÍA MORDAZA CON RESORTE 3"	UM	6
8	RODELA PLANA 3", GALVANIZADA	UM	6
9	ARMAZÓN ALUSTALUZ PARA CONDUIT Ø 1 1/2"	UM	6
10	HUB WEGE STD-3 Ø 1 1/2", CHOUZE FINOS	UM	6
11	HUB WEGE STD-3 Ø 1 1/2", CHOUZE FINOS	UM	3
12	CONDUIT TRIMAT BUSHINGS 1035 Ø 1 1/2"	UM	5
13	CONDUIT RIBDIO Ø 1 1/2" - TRAMO 1400 mm	UM	6
14	CONDUIT RIBDIO Ø 1 1/2" - TRAMO 550 mm	UM	5
15	CONDUIT RIBDIO Ø 1" - TRAMO 750 mm	UM	3
16	BANDEJA 8" TR-10-00	UM	1
17	BANDEJA 8" TR-10-12	UM	1
18	BANDEJA 8" TR-10-13	UM	1
19	BASE DE CONCRETO, ESPESOR 200 mm		

Rectificador del Sistema de protección catódica
PETROECUADOR

RECTIFICADOR &
CAJA DE INTERCONEXION
CORTE B-B - DIMENSIONES
ESCALA 1:15



RECTIFICADOR &
CAJA DE INTERCONEXION
CORTE A-A - DIMENSIONES
ESCALA 1:15



Rectificador del Sistema de protección catódica
PETROECUADOR

SIMBOLOGIA	
	TRn
	PPCn
	PPCGm
	Rectificador
	Rectificador Número n
	Cable Inmovilizable Salvo Rectificador n
	Caja cable de Tanque n
	Caja de Referencia Permanente
	Soladura Cuálquier de cable catódico al tanque
	Cable anódico entre TR y PPC
	Cable catódico entre TR y PPC
	Cable anódico entre PPC y PPCn - TK
	Cable catódico entre PPC - PPCn - TK
	Cable cable de referencia entre PPC - PPCn - TK
	Cable Alimentados a TR

IDENTIFICACION DE CABLES	
TRn-PPCn-PPCGm	Cable alimentación a rectificador TRn
TRn-PPCn-AN	Cable anódico entre TRn y PPCn
TRn-PPCn-CN	Cable catódico entre TRn y PPCn
TRn-PPCn-ANm	Cable anódico entre PPCn y PPCGm
TRn-PPCn-CNm	Cable catódico entre PPCn y PPCGm
TRn-PPCn-Smp	Cable cable de referencia entre PPCn y PPCGm
TRn-PPCn-Smp	Cable anódico entre PPCGm y Tanque
TRn-PPCn-Smp	Cable catódico entre PPCGm y Tanque
TRn-PPCn-Smp	Cable cable de referencia entre PPCGm y Tanque

n, Número de Rectificador
n = 1 Rectificador para tanques Extra, Super y Slop
n = 2 Rectificador para tanques Diesel
m, Número de Tanque
m = 1 Slop, m = 2 Extra 1, m = 3 Extra 2, m = 4 Super 1
m = 5 Super 2, m = 6 Diesel 1, m = 7 Diesel 2
p, Posición de la caja de referencia o alimentador
p = 1 Oeste, p = 2 Centro, p = 3 Este
p = 0 Indica señal del cable catódico

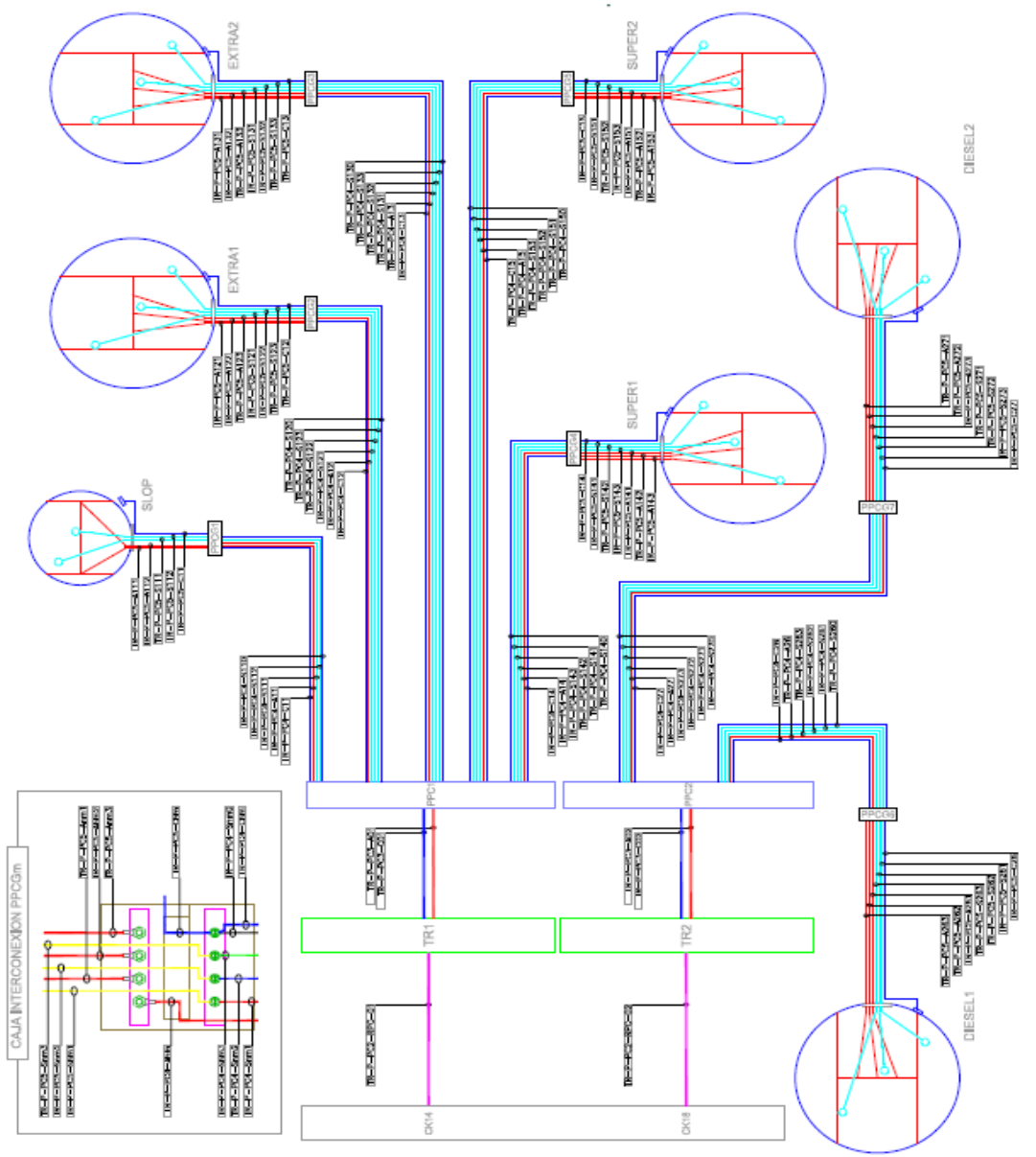


Diagrama de conexionado
PETROECUADOR

