



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE PETRÓLEOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR
CORRIENTES IMPRESAS PARA EL DUCTO DE GLP DESDE
LA ESTACIÓN DE BOMBEO FLOPEC HASTA LA ESTACIÓN
DE ALMACENAMIENTO MONTEVERDE”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEO

AUTOR: ERICK PATRICIO PACHECO ALEJANDRO

TUTOR: INGENIERO LUCAS MATEO ALFONZO

**LA LIBERTAD – ECUADOR
2011-2012**

**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE PETRÓLEOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR
CORRIENTES IMPRESAS PARA EL DUCTO DE GLP DESDE
LA ESTACIÓN DE BOMBEO FLOPEC HASTA LA ESTACIÓN
DE ALMACENAMIENTO MONTEVERDE”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEO

AUTOR: ERICK PATRICIO PACHECO ALEJANDRO

TUTOR: INGENIERO LUCAS MATEO

**LA LIBERTAD – ECUADOR
2011-2012**

La Libertad, de 201.....

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, **“Diseño del sistema de protección catódica por corrientes impresas para el ducto de GLP desde la estación de bombeo FLOPEC hasta la estación de almacenamiento MONTEVERDE”** elaborado por el señor Erick Patricio Pacheco Alejandro, egresado de la Carrera de Ingeniería en Petróleo de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de ingeniero en petróleo, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

Atentamente

Ing. Lucas Mateo Alfonzo
TUTOR

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres, quienes en todo este tiempo han velado por mi bienestar y educación siendo el principal apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mí, convirtiéndose en pilares fundamentales. Sin ellos, jamás hubiese conseguido esta meta. Su tenacidad y lucha han sido el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo en lo personal, sino también para mi hermana y toda la familia.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por llevarme por el camino del bien, A todos quienes integran mi familia, mi padre Patricio Pacheco, mi madre Paulina Alejandro, mi hermana Estefany Pacheco, por estar siempre en los momentos de felicidad y tristeza.

Agradezco de manera especial al Ing. Fernando Jáuregui gerente de ducto del consorcio SHI ASIA MONTEVERDE por permitirme realizar el proyecto de tesis, al Ing. Luis Laverde por brindarme su apoyo y conocimientos incondicionalmente en el tema y diseño de este proyecto, al Ing. Ramón Muñoz, Decano de la Facultad de Ingeniería Civil, al Ing. Lucas Mateo tutor de mi proyecto de tesis.

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Ramón Muñoz Suárez
DECANO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA INGENIERIA

Ing. Alamir Álvarez Loor
DIRECTOR DE LA ESCUELA
DE PETROLEOS

Ing. Lucas Mateo Alfonzo
PROFESOR TUTOR

Ing. Carlos Portilla Lazo
PROFESOR DE ÁREA

Abg. Milton Zambrano Coronado Msc.
SECRETARIO GENERAL PROCURADOR

RESUMEN

En la industria petrolera se torna sumamente necesaria la implementación de sistemas de protección que estén enfocados a combatir un fenómeno inevitable; la corrosión en tuberías y demás facilidades para garantizar la vida útil del material y evitar daños y pérdidas de producción; por ello existen métodos y formas para combatir este fenómeno que con el pasar de los años se vuelve más y más agresivo, por el medio ambiente y la saturación de gases que se concentran. Para adaptar un sistema de protección catódica es necesario analizar el medio y el material a proteger. Actualmente la industria petrolera se encuentra estrechamente vinculada con estos sistemas ya que es evidente la corrosión por los compuestos contenidos en el petróleo y gases, haciendo de la protección catódica una prioridad.

En esta tesis se diseñará el sistema de protección catódica por corriente impresa al ducto de transporte de GLP (gas licuado de petróleo), desde la planta de almacenamiento de FLOPEC (flota petrolera ecuatoriana), hasta la estación de bombeo Monteverde, utilizando criterios electroquímicos y termodinámicos basados en el medio y estudios realizados con el propósito de garantizar y prolongar la vida útil de la estructura.

En el Capítulo 1 se examina el planteamiento del problema de corrosión, para de esta manera determinar los, objetivos, hipótesis e instrumentos y técnicas de trabajo que serán procesados en función de variables independientes y dependientes con el propósito de llegar a una solución y cumplir con el objetivo trazado.

En el Capítulo 2 se contempla un estudio de los fundamentos básicos de la corrosión en tuberías y las distintas técnicas preventivas contra dicho problema, tales como los recubrimientos y los sistemas de protección catódica. En el transcurso del trabajo se encontrará la mejor alternativa para proteger la tubería.

En el Capítulo 3 se realizará el diseño de protección catódica tomando en cuenta el cruce del poliducto La Libertad- Manta que atraviesa la zona en forma perpendicular, con la finalidad de evitar conflictos e interferencias eléctricas, fundamentados bajo los principios y criterios de la protección en metales para obtener los requerimientos, tales como: ánodos inertes, transformadores, cables conductores conexiones, aisladores y demás elementos que formen parte del sistema de protección catódica a utilizar.

En el Capítulo 4 se hará un desglose del costo técnico económico de la instalación del sistema de protección catódica para el ducto. Cada actividad realizada en la instalación del sistema estará sustentada bajo especificaciones técnicas y análisis de costos unitarios para obtener posteriormente un presupuesto referencial.

Luego se obtendrán los tiempos que demandará cada uno de los trabajos ordenados cronológicamente en un Diagrama de Gantt.

Finalmente, en el Capítulo 5 se darán las respectivas conclusiones y recomendaciones para la instalación y mantenimiento para un buen funcionamiento del sistema de protección catódica por corrientes impresas aplicada al ducto de glp.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Planteamiento del problema	3
1.3.1 Formulación del problema	3
1.3.2 Sistematización del problema	3
1.4 Justificación del tema	4
1.5 Objetivo general	4
1.6 Objetivos específicos	5

1.7 Hipótesis	5
1.8 Metodología	5
1.8.1 Diseño de la investigación	6
1.8.2 Métodos de investigación	6
1.8.3 Técnicas de instrumentos	7
1.8.4 Operacionalización de variables	7
1.8.4.1 Operacionalización de variable independiente	7
1.8.4.2 Operacionalización de variable dependiente	8
CAPÍTULO 2	
2 CONCEPTOS BÁSICOS	10
2.1 Corrosión	10
2.1.1 Formas de corrosión según la naturaleza del ambiente	12
2.1.1.2 Corrosión húmeda	12
2.1.1.3 Corrosión seca	13
2.1.2 Formas de corrosión según la apariencia del metal corroído	14
2.1.2.1 Corrosión generalizada	15
2.1.2.2 Corrosión localizada	15
2.1.3 Corrosión galvánica uniforme	15
2.1.4 Corrosión por erosión	16
2.1.5 Corrosión por agrietamiento	18
2.1.6 Corrosión por picadura	19
2.1.7 Corrosión por exfoliación y disolución selectiva	19
2.1.8 Corrosión inter granular o inter cristalina	20
2.2 Naturaleza electroquímica de la corrosión	21
2.2.1 Ánodo	21
2.2.2 Cátodo	21
2.2.3 Electrolito	21
2.2.4 Ley de la electrolisis	22
2.2.5 Composición del electrolito	23

2.2.6 Conductividad	24
2.3 Características físicas y químicas del suelo	24
2.3.1 Potencial de hidrogeno (ph)	25
2.3.2 Gases disueltos	27
2.3.2.1 Oxigeno disuelto	27
2.3.2.2 Dióxido de carbono disuelto	27
2.3.2.3 Acido sulfhídrico disuelto	27
2.4 Variables físicas	28
2.4.1 Temperatura	28
2.4.2 Presión	28
2.5 Reacciones electroquímicas de la corrosión	28
2.5.1 Celdas de corrosión	29
2.5.2 Criterios de protección aplicados en metales	29
2.5.3 Técnicas preventivas contra la corrosión en tuberías	33
2.5.4 Recubrimientos	34
2.6 Sistemas de protección catódica	37
2.6.1 Sistema de protección catódica por ánodos galvánicos	41
2.6.2 Sistemas de protección catódica por corrientes impresas	45
2.6.2.1 Ánodos utilizados en la corriente impresa	47
2.6.2.2 Fuente de corriente	49

CAPÍTULO 3

3 DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTES IMPRESAS	52
3.1 Características de la tubería	54
3.2 Características del medio electrolítico	59
3.3 Localización de líneas extranjeras	66
3.4 Criterios de protección catódica por corrientes impresas	69
3.4.1 Criterio I de diseño protección catódica por corrientes impresas	69
3.4.1.1 Procedimiento de cálculos	70

3.4.1.1.1	Calculo de área a proteger	71
3.4.1.1.2	intensidad de corriente requerida	73
3.4.1.1.1.2	Tipo y número de ánodos inertes	74
3.4.1.1.1.3	Resistencia y voltaje de diseño	77
3.4.1.2	Listado de equipos y materiales para el diseño	79
3.4.2	Criterio II de diseño protección catódica por corrientes impresas	80
3.4.2.1	Análisis de factor de interferencia	83
3.4.2.2	Uniones metálicas	85
3.4.2.3	Datos técnicos del poliducto La Libertad -Manta	86
3.4.2.4	Cálculos y diseño del puente	87
3.4.2.5	Listado de equipos y materiales para diseño de puente	100

CAPÍTULO 4

4 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA SU IMPLEMENTACIÓN

4.1	Análisis Técnico	102
4.2	Presupuesto referencial del proyecto	104
4.3	Programación de actividades	112
4.4	Especificaciones técnicas y procedimiento	115

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Apéndices	
	Bibliografía	

ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
BSI	British Standard Institute
AWG	American Wire Gauge
HMWPE	High Molecular Weight Polyethylene
SPC	Sistema de Protección Catódica
MMO	Mixed Metal Oxide
H	Hidrógeno
H+	Ion de Hidrógeno
Fe	Hierro
Fe ⁺⁺	Ion de Hierro
e-	Electrones
Mpy	Mils per year
O	Oxígeno
OH-	Oxidrilo
H ₂ O	Agua
Na	Sodio
Cl- Ion	Cloruro
MLWL	Mean Low Water Level
HWL	High Water Level
MSL	Mean Sea Level
LWL	Low Water Level
mg/l	Miligramos por Litros
CO ₂	Dióxido de Carbono
CaCO ₃	Carbonato de Calcio
Cu-CuSO ₄	Cobre - Sulfato de Cobre
Mg	Miligramos

G	Gramos
Kg	Kilogramos
Tn	Tonelada
Hr	horas
g/cm ³	Gramos por centímetro cúbico
Mm	Milímetro
M	Metro
Km	Kilómetro
m ²	Metro Cuadrado
pulg	Pulgadas
pulg ²	Pulgadas Cuadradas
mol	Moles
C/mol	Coulomb por mol
mV	Milivoltio
V	Voltio
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Continua
mA/m ²	Miliamperio por Metro Cuadrado
kg/A-año	Kilogramo por Amperio Año
Kg/m	Kilogramo por metro
Ω	Ohmio
Ω-cm	Ohmio - Centímetro
Ω/m	Ohmio por metro
°C	Grado centígrado
pH	Potencial hidrogeno
Ti	Titanio
Zn	Zinc

SIMBOLOGÍA

Au:	Área unitaria
L:	Longitud de la zona
M:	Masa anódica por cada unidad de rectificación
C:	Consumo del material
V:	Tiempo de Vida del material
Irequerida:	Corriente de requerida
FU:	Factor de utilización
NA:	Número de ánodos
mu:	Masa de cada ánodo
Dc:	Densidad de corriente
e:	Eficiencia del recubrimiento
IT=	Corriente total de protección
f:	Factor de seguridad
u:	Número de unidades de rectificación
Ra:	Resistencia de la cama de ánodos por rectificador
La:	Longitud de cada ánodo
d:	Diámetro de cada ánodo
S:	Espaciamiento entre ánodos
Re:	Resistencia de la estructura
Rcn:	Resistencia del cable conductor
r:	Resistencia por unidad de longitud
l:	Longitud del conductor principal
RTn:	Resistencia total del circuito por cada unidad de rectificación
VRn:	Voltaje de cada unidad de rectificación.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1:	Acción electroquímica en una superficie metálica mojada	13
Figura 2.2:	Corrosión seca cuando el oxígeno reacciona con el meta	14
Figura 2.3:	Oxidación del zinc en una pila vertida en solución de cinh4	23
Figura 2.4:	Conductividad de corriente en una celda de corrosión	24
Figura 2.5:	Diagrama de pourbaix	32
Figura 2.6:	Sistema de protección catódica por ánodos galvánicos	42
Figura2.7:	Sacos de relleno backfill	44
Figura 2.8:	Sistema de protección catódica por corrientes impresas	46
Figura 2.9:	Rectificadores para el uso de protección catódica por corrientes impresas	50
Figura 3.1:	Ducto de glp Flopec-Monteverde	55
Figura 3.2:	Diámetro nominal ducto de glp	56
Figura 3.3:	Instalaciones de Ecuasal cercanas al ducto de glp Monteverde	60
Figura 3.4:	Resistivímetro modelo Nilson 400 eléctrico	61
Figura 3.5:	Curva de resistividad vs profundidad muestra 1	63
Figura 3.6:	Curva de resistividad vs profundidad muestra 2	64
Figura 3.7:	Medición de resistividad del suelo en el sector Monteverde	65
Figura 3.8:	Equipo satelital Rigdig navitrack para detección de líneas Enterradas	68
Figura 3.9:	Localización de líneas extranjeras en sector de Monteverde	69
Figura 3.10:	Gráfico de diseño CP corrientes impresas	80
Figura 3.11:	Cruce perpendicular de tuberías energizadas	81
Figura 3.12:	Cruce en paralelo de tuberías energizadas	82
Figura 3.13:	Interferencia electroestática de dos tuberías energizadas	82
Figura 3.14:	Poliducto La Libertad- Manta	83
Figura 3.15:	Área de demanda en la caída de potencial en el cruce de	

dos tuberías	84
Figura 3.16: Puente o unión metálica	85
Figura 3.17: Caída de potencial versus distancia	89
Figura 3.18: Caída de potencial versus distancia en el poliducto La Libertad- Manta	90
Figura 3.19: Rectificador Ballenita	91
Figura 3.20: Rectificador Palmar	92
Figura 3.21: Gráfico área de protección de los rectificadores extremos al ducto de glp	94
Figura 3.22: Curva de variación de potenciales entre puntos kilométricos	99
Figura 3.23: Intensidades de corriente el poliducto y ducto de Glp	100
Figura 3.24: Sistema de protección catódica por puenteo del ducto de Glp y el poliducto La Libertad- Manta	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Grado de corrosividad según la resistividad del suelo	25
Tabla 2:	Grado de corrosividad en función del potencial de hidrógeno para el acero	26
Tabla 3:	Serie galvánica para metales	30
Tabla 4:	Serie electroquímica para metales	38
Tabla 5:	Clasificación de metales y no metales por orden de nobleza termodinámica	39
Tabla 6:	Características de ánodos galvánicos	44
Tabla 7:	Características de ánodos para sistemas de protección catódica por corrientes impresas	48
Tabla 8:	Grados de acero al carbono según api 5l.	54
Tabla 9:	Tabla de diámetros exteriores y nominales de tuberías de acero	56
Tabla 10:	Espesores estándar según api 5l	58
Tabla 11:	Clasificación de largos según la longitud de la tubería	59
Tabla 12:	Especificaciones técnicas del resistivímetro nelson 400	60
Tabla 13:	Valores de resistividad en la muestra 1, sector Monteverde	62
Tabla 14:	Valores de resistividad en la muestra 2 , sector Monteverde	63
Tabla 15:	Resistividad promedio de la muestra 1 y 2 sector Monteverde	64
Tabla 16:	Especificaciones técnicas del ph metro thermo electrón	66
Tabla 17:	Datos de temperatura porcentaje de sodio y ph en la muestra	66
Tabla 18:	Datos de temperatura porcentaje de sodio y ph en la muestra	66
Tabla 19:	Especificaciones técnicas del localizador de líneas rigidig	67
Tabla 20:	Datos del ducto de Glp desde flopec hasta Monteverde	70
Tabla 21:	Calidad y eficiencia en los recubrimientos	72

Tabla 22:	Listado de materiales para el diseño de la protección catódica por corrientes impresas	79
Tabla 23:	Datos técnicos del poliducto La Libertad - Manta	85
Tabla 24:	Datos de potencial y distancia de rectificadores externos al ducto de Glp	87
Tabla 25:	Potenciales del poliducto La Libertad - Manta a diferentes puntos Kilométricos	88
Tabla 26:	Distancias de rectificadores del poliducto La Libertad - Manta con respecto al ducto Monteverde	87
Tabla 27:	Especificaciones técnicas del rectificador Ballenita	91
Tabla 28:	Especificaciones técnicas del rectificador de Palmar	92
Tabla 29:	Comparación de cálculo de diseño por puenteo de Líneas	98
Tabla 30:	Caída de potencial por variación de distancia del poliducto La Libertad- Manta	98
Tabla 31:	Listado de materiales para el diseño de la protección catódica por Puenteo de líneas	100
Tabla 32:	Costo de mano de obra por día para el diseño del sistema Protección catódica por corrientes impresas	104
Tabla 33:	Costo de mano de obra para el diseño del sistema de protección Catódica en 7 días	105
Tabla 34:	Costo de materiales y equipo para la instalación del sistema de protección catódica por corrientes impresas	105
Tabla 35:	Costos de instalación del sistema de protección catódica y mano de obra por corrientes impresas	106
Tabla 36:	Costos de mantenimiento del sistema de protección catódica por corrientes impresas	107
Tabla 37:	Costos de consumo del sistema de protección catódica por corrientes impresas	107
Tabla 38:	Costos totales del sistema de protección catódica por	

	corrientes impresas	108
Tabla 39:	Costo de mano de obra por día para el diseño del sistema de protección catódica por puenteo de líneas	109
Tabla 40:	Costo de mano de obra para el diseño del sistema de Protección por puenteo de líneas en 4 días	109
Tabla 41:	Costo de materiales y equipo para la instalación del sistema de protección catódica por puenteo de líneas	110
Tabla 42:	Costos de instalación y mano de obra del sistema de protección Catódica por puenteo de líneas	110
Tabla 43:	Costos de mantenimiento del sistema de protección catódica por puenteo de líneas	111
Tabla 44:	Costos totales del sistema de protección catódica por puenteo de líneas	112
Tabla45:	Cronograma para la instalación del sistema de protección catódica por corrientes impresas	113
Tabla 46:	Cronograma para la instalación del sistema de protección catódica por puenteo de líneas	114

INDICE DE PLANOS

PLANO 1	DISEÑO DEL SPC POR PUENTE DE LÍNEAS
PLANO 2	ANÁLISIS AMPERIMETRICO Y DE RESISTIVIDADES SPC POR PUENTE DE LÍNEAS
PLANO 3	ÁREA DE INFLUENCIA DEL SPC DEL POLIDUCTO LA LIBERTAD- MANTA CON RESPECTO AL DUCTO DE GLP
PLANO 4	DISEÑO DEL SPC PARA EL DUCTO DE GLP CON ÁNODOS DE HIERRO SILICIO
PLANO 5	SECCION TRANSVERSAL DEL LECHO ANÓDICO DEL SPC DEL DUCTO DE GLP
PLANO 6	UNIONES DE CABLES ANÓDICOS

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción.

La industria petrolera es un pilar fundamental en el desarrollo económico de nuestro país, ya que representa la principal fuente de ingresos de divisas, por ello es necesario mantener los equipos de operación en un óptimo desempeño evitando así las pérdidas de producción por la paralización de plantas, facilidades, oleoductos, poliductos y gasoductos que representan el corazón de la industria en sí. Todos los elementos tienen un tiempo útil de vida, pero cuando esta se presenta un desgaste prematuro por diversos factores, representa un serio problema que trae consigo pérdidas económicas para la compañía operadora y el estado en general, esto se debe principalmente a un fenómeno que con el pasar del tiempo se vuelve más agresivo y perjudicial “la corrosión”, por lo que es sumamente necesario aplicar técnicas y criterios de protección que se han ido desarrollando y modernizando al pasar de los años con el objetivo de combatir este fenómeno. La industria petrolera ha ido adoptando con mayor intensidad diferentes métodos y diseños que ayudan a proteger sus equipos para garantizar la seguridad del personal, los gastos indebidos y evitar contaminaciones medio ambientales que pudiesen darse, consecuencia de un ataque por corrosión que origine una pérdida del producto transportado.

La presente investigación está enfocada en diseñar el sistema de protección catódica para el tramo de ducto de GLP (gas licuado de petróleo) desde la estación

de almacenamiento de FLOPEC (flota petrolera ecuatoriana), hasta la estación de bombeo MONTEVERDE con el objetivo de prolongar la vida útil de la estructura evitando un ataque agravado de corrosión en el medio en el que operara y evitando también interferencias eléctricas con el poliducto La Libertad - Manta basados en principios y criterios de protección en tuberías para dar las directrices en su óptimo desempeño.

En los siguientes capítulos se analizará y estudiarán los criterios de protección catódica aplicados a tuberías enterradas y principalmente al cruce de líneas para evitar el desgaste prematuro por interferencias, como objetivo principal.

Aquí se escogerá el tipo de protección basado en los criterios estudiados y se diseñará el sistema detalladamente con todos los equipos y materiales que se utilizarán tales como: conductores, ánodos, rectificadores, aislamientos cables, cajas de conexión, empalmes y demás accesorios según el criterio de diseño a escoger. La selección del tipo de material las capacidades y ubicación puntualizada de diseño de construcción del sistema se basarán y sustentarán en los fundamentos teóricos y normativas actuales.

Se mostrará en detalle un análisis técnico y un desglose económico referencial del costo del proyecto para la implementación al gasoducto FLOPEC-MONTEVERDE así como un cronograma de tiempo estimando cronológicamente en un diagrama de Gantt para su elaboración e implementación. Finalmente se darán las respectivas conclusiones y recomendaciones basadas en las normas y análisis del diseño.

1.2 Antecedentes.

Se realizaron estudios previos para la instalación del ducto y la planta operadora fundamentados en las normas de diseño establecidas por el MOP, de acuerdo a la necesidad y rigiéndose a los parámetros del estudio de suelo existente en el sitio,

realizando los trabajos preliminares como: levantamiento topográfico, levantamiento altimétrico, estudios de suelo y los correspondientes a cálculos de áreas y longitudes para el ducto.

El tendido de línea del ducto fue colocada en superficie previo a una inspección técnica del recubrimiento adhesivo de polietileno para ser enterrada a una profundidad de 2.5 metros.

1.3 Planteamiento del problema.

Los sistemas de protección catódica son comúnmente diseñados bajo criterios y normas para diferentes medios electrolíticos sean estos acuáticos o terrestres con el objetivo de evitar una corrosión agresiva del material expuesto a fenómenos electroquímicos que pueden variar según el ambiente de operación.

El ducto de glp desde la estación de bombeo de Flopec hasta la estación de almacenamiento Monteverde es una tubería enterrada de aproximadamente 500 metros de longitud que atraviesa una zona altamente salina ya que limita con pozos de sal, puesto que es una zona con baja resistividad y alto grado de corrosión para tuberías y demás artefactos expuestos al medio.

1.3.1 Formulación del problema.

¿Cuál sería el criterio de protección de tuberías apropiado en el diseño de protección catódica por corrientes impresas aplicada al ducto de GLP desde la estación de bombeo FLOPEC hasta la estación de almacenamiento MONTEVERDE para evitar un ataque agravado de corrosión en un medio altamente salino?

1.3.2 Sistematización del problema.

¿Evitará el criterio de protección de tuberías para el diseño de la protección catódica del ducto de GLP un ataque de corrosión por interferencia electrostática

con respecto al poliducto LA LIBERTAD- MANTA que atraviesa la zona de manera perpendicular?

¿Se podrá combatir un ataque agravado de corrosión con un sistema de protección catódica en medio electrolítico de baja resistividad?

¿Se podrá alcanzar la protección del ducto implantando un sistema de protección catódica de bajo costo de mantenimiento y operacionales para un medio altamente agresivo?

1.4 Justificación del tema.

Este proyecto se desarrollará con el propósito de garantizar y alargar la vida útil del tramo de la tubería enterrada que transportará GLP a condiciones criogénicas desde la estación de almacenamiento de FLOPEC hasta la estación de bombeo MONTEVERDE tomando en cuenta que la zona de interés es altamente corrosiva rodeada de pozos de sal y muy cercana a las costas, por lo cual es sumamente necesario un óptimo diseño en la protección catódica por corrientes impresas ya que otro tipo sistema, tal como ánodos de sacrificio o galvánicos resultaría inadecuado e ineficiente por la longitud y cantidad de material a proteger. Por ser ésta una tubería de transporte nueva que entrará en operación a mediados del año 2012, debe contar con un sistema de protección contra la corrosión que garantice el correcto funcionamiento y operatividad, sin riesgo alguno.

Posteriormente se mostrarán los resultados basados en criterios de protección en tuberías, normativas vigentes, pruebas físicas y de laboratorio que sustenten un correcto diseño y configuración de la protección catódica por corrientes para el ducto, que será construido por el consorcio SHI-ASIA MONTEVERDE encargado de la ejecución e instalación de la obra.

1.5 Objetivo general.

Determinar el criterio de protección de tuberías apropiado mediante el diseño del sistema de protección catódica por corrientes impresas aplicado al ducto de GLP desde la planta de bombeo FLOPEC hasta la planta de almacenamiento

MONTEVERDE para evitar un ataque agravado de corrosión en un medio altamente salino.

1.6 Objetivos específicos.

Evitar un ataque de corrosión por interferencia electrostática entre el poliducto que atraviesa la zona de forma perpendicular y el ducto de GLP en base al criterio de protección catódica seleccionado.

1.7 Hipótesis.

La correcta selección de criterio de protección en tuberías en el diseño del sistema de protección catódica por corrientes impresas aplicada al ducto de GLP desde la planta de bombeo de FLOPEC hasta la planta de almacenamiento MONTEVERDE evitará un ataque prematuro o agravado de corrosión en la tubería en un medio altamente salino.

- Variable independiente:

La correcta selección de criterio de protección en tuberías en el diseño del sistema de protección catódica por corrientes impresas aplicada al ducto de GLP desde la planta de bombeo de FLOPEC hasta la planta de almacenamiento MONTEVERDE

- Variable dependiente:

Ataque prematuro o agravado de corrosión en la tubería en un medio altamente salino.

1.8 Metodología.

El proyecto se desarrollará en Monteverde donde el consorcio Shi- Asia se encuentra realizando la construcción del sistema de transporte y distribución de GLP por el ducto de gas para la Zona sur del país y el cual facilitará la información de planos y datos que serán analizados posteriormente, luego se realizará una prospección física del terreno y toma de muestras utilizando los

equipos mencionados anteriormente con el fin de determinar variables como la resistividad, el potencial de hidrógeno contenido de sales solubles para determinar la agresividad del medio electrolítico por el cual atraviesa el ducto, también se utilizarán equipos como el riggdi para la ubicación e identificación de tuberías extranjeras que podrían afectar la protección catódica por corrientes vagabundas. Después del análisis de los factores antes mencionados y basados en los criterios en protección en metales se manejarán criterios, fórmulas y mediciones sustentados en los textos expuestos para el diseño de la configuración de ánodos, tipos de ánodos a utilizar, ubicación y profundidad del lecho, cantidad de corriente tipos de rectificadores (todo estos factores en base a cálculos y fórmulas para el diseño de protección catódica), finalmente las recomendaciones y mantenimiento para un correcto funcionamiento de la protección catódica que debe tener el ducto de glp tomando en cuenta que se encuentra en una zona altamente salina y de baja resistividad.

1.8.1 Diseño de la investigación.

Los pasos del diseño de investigación son los siguientes:

- Estudio Bibliográfico
- Diseño del instrumento en función de las teorías orientadoras y de los objetivos específicos
- Validación del instrumento
- Aplicación del instrumento
- Tabulación y procesamiento de datos en base a cálculos
- Conclusiones y recomendaciones

1.8.2 Métodos de investigación.

El Método de investigación, tomando en cuenta lo expresado por Balestrini (1998), se refiere al conjunto de procedimientos lógicos, tecno-operacionales

implícitos en todo proceso de investigación, con el objeto de ponerlos de manifiesto y sistematizarlo a propósito de permitir descubrir y analizar los supuestos del estudio y de reconstruir los datos, a partir de los conceptos teóricos convencionalmente operacionalizados.

De acuerdo a lo señalado, este tipo de investigación es aplicable al presente trabajo, debido a que es una proposición sustentada en un diseño de protección catódica realizable, encaminado a resolver o solucionar una situación problema que actualmente existe respecto a los efectos de corrosión.

Desde la perspectiva cuantitativa, en función de los objetivos de esta investigación, se aplicarán instrumentos de cálculos basados en los libros de Peabody (2001), Márquez (2004) y datos propiedad del ARCH (agencia de regulación y control de hidrocarburos)

Finalmente, con esta información, se realizará una integración - complementariedad- de lo cualitativo y lo cuantitativo, esto es, una triangulación de métodos, técnicas y metodologías, buscando una relación de complementariedad para alcanzar los objetivos propuesta en la investigación.

1.8.3 Técnicas de instrumentos.

- Equipos de medición de resistividad, Ph, conductividad, resistividad
- Pruebas de laboratorio en base a muestras obtenidas del suelo
- Riggdig rastreador de líneas enterradas
- Herramientas informáticas (Word, Excel, Power Point, Autocad) para el tratamiento de datos y presentación de resultados.
- Inspección técnica

1.8.4 Operacionalización de variables.

- 1.8.4.1 Operacionalización de variable independiente:

La correcta selección de criterio de protección en tuberías en el diseño del sistema de protección catódica por corrientes impresas

aplicada al ducto de GLP desde la planta de bombeo de FLOPEC hasta la planta de almacenamiento MONTEVERDE

ABSTRACTO		CONCRETO – Tangible – Operacional		
CONCEPTUALIZACION	CATEGORÍAS	INDICADORES	ITEMS	TECN - INSTRUM
Se ha ideado este sistema mediante el cual el flujo de corriente requerido, se origina en una fuente de corriente generadora continua regulable o, simplemente se hace uso de los rectificadores, que alimentados por corriente alterna ofrecen una corriente eléctrica continua apta para la protección de la estructura en base a ánodos acorde al medio electrolítico.	<p>Por corrientes impresas</p> <p>Por puenteo de líneas</p>	<p>-Área de protección</p> <p>-Densidad de corriente</p> <p>-Intensidad requerida</p> <p>-Corriente de seguridad</p> <p>-Masa anódica</p> <p>-Numero de ánodos</p> <p>-Espaciamiento</p> <p>-Intensidad y voltaje de diseño</p> <p>-Potenciales del poliducto La Libertad-Manta</p> <p>-Intensidad de diseño</p>	<p>¿Evitara el spc una interferencia electroestatica que cause efectos corrosivos ?</p> <p>¿se podrá evitar un ataque corrosivo en un suelo de baja resistividad con el spc por puenteo de líneas?</p>	<p>-Equipos de medición de resistividad, Ph, conductividad, resistividad</p> <p>-Pruebas de laboratorio en base a muestras obtenidas del suelo</p> <p>-Riggdig rastreador de líneas enterradas</p> <p>-Herramientas informáticas (Word, Excel, Power Point, Autocad) para el tratamiento de datos y presentación de resultados.</p> <p>-Inspección técnica</p>

- 1.8.4.2 Operacionalizacion de variable independiente:

Ataque prematuro o agravado de corrosión en la tubería en un medio altamente salino.

ABSTRACTO		CONCRETO – Tangible – Operacional		
CONCEPTUALIZACION	CATEGORIAS	INDICADORES	ITEMS	TECN - INSTRUM
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.	<p>Según la naturaleza del ambiente Seca y húmeda</p> <p>Según la apariencia del metal corroído Generalizada y localizada</p> <p>Galvánica uniforme</p> <p>Por agrietamiento</p> <p>Por picadura</p> <p>Por exfoliación y disolución selectiva</p> <p>Inter granular o inter cristalina</p>	<p>$\Delta G = -nFE$</p> <p>Ecuación de Nernst corrosión de naturaleza electroquímica</p> <p>Diagrama de Pourbaix Medición de corrosividad en función del potencial de hidrogeno</p> <p>Resistividad del suelo (ρ)=$2*\pi*d*R$ Para calcular Agresividad del suelo</p>	<p>¿Se podrá proteger el ducto con un spc de bajo costo de operación y mantenimiento?</p> <p>¿Los sistemas de spc funcionan eficientemente en suelos de baja resistividad?</p>	<p>-Equipos de medición de resistividad, Ph, conductividad, resistividad</p> <p>-Pruebas de laboratorio en base a muestras obtenidas del suelo</p> <p>-Rigdig rastreador de líneas enterradas</p> <p>-Herramientas informáticas (Word, Excel, Power Point, Autocad) para el tratamiento de datos y presentación de resultados.</p> <p>-Inspección técnica</p>

CAPÍTULO 2

2 Conceptos básicos.

2.1 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.

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.

Sólo cuando en nuestros recorridos por las industrias del país vemos chatarra acumulada, estructuras metálicas abandonadas, edificaciones destruidas, tanques de almacenamiento fuera de servicio, tuberías perforadas, puentes caídos, etc., nos lleva a reflexionar y querer entender que aquella inversión que se debió haber realizar, efectivamente no generaría utilidades, pero

hubiera permitido mantener operaciones y constante producción por el tiempo de vida útil que el control de la corrosión le permitiera a instalaciones.

Si se compara los costos que demandan la instalación de un sistema de prevención de la corrosión, la ejecución de los controles y el mantenimiento que sugieran los resultados, con los costos de reparación, reemplazo de estructuras afectadas y los daños personales o ambientales que estos ocasionaren, se entendería con meridiana exactitud que prevenir la corrosión es sinónimo de proteger la integridad física de trabajadores, alargar la vida útil de instalaciones y cuidar de la ecología y el medio ambiente.

Definición

Se Puede definir 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.

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 HUMEDA, un proceso electroquímico que requiere de tres condiciones para desarrollarse espontáneamente; ánodo, cátodo y 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) incrementa 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.

2.1.1 Formas de corrosión según la naturaleza del ambiente

2.1.1.1 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.

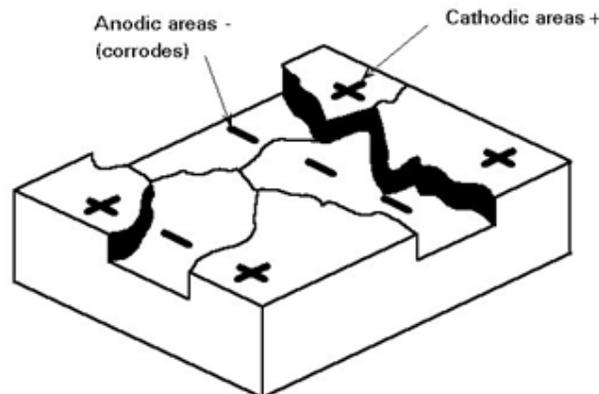


FIGURA 2.1: ACCIÓN ELECTROQUÍMICA EN UNA SUPERFICIE METÁLICA MOJADA.

2.1.1.2 Corrosión seca

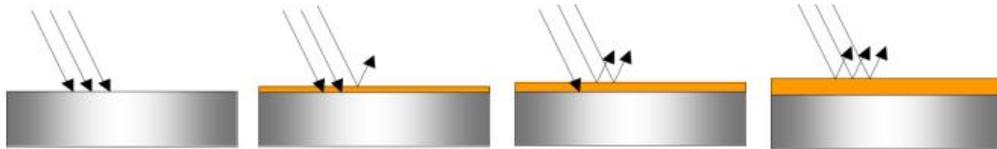
Cuando un metal trabaja a temperatura elevada se genera una reacción química directa entre el metal y un gas agresivo que normalmente es oxígeno, dando como resultado la formación de óxidos. La tendencia de un metal a reaccionar con el oxígeno viene indicada por el cambio de energía libre que acompaña 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 mas ó menos fácilmente cuando se exponen al aire.

Se diferencia de la corrosión electroquímica por los aspectos siguientes:

- No requiere de un electrolito
- 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.



- Dry corrosion occurs when the metal reacts with **oxygen in the air**.

FIGURA 2.2: CORROSIÓN SECA CUANDO EL OXIGENO REACCIONA CON EL METAL

2.1.2 formas de corrosión según la apariencia del metal corroído

La corrosión puede ser uniforme y entonces el metal se corroe 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.

2.1.2.1 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, un ejemplo de corrosión generalizada es exponer acero inoxidable de tipo ferrítico de bajo contenido de cromo (AISI 430) a una moderada solución de ácido sulfúrico a temperatura.

Es aquella corrosión que se produce con 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).

2.1.2.2 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.

2.1.3 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.

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.

Otro método para reducir la corrosión galvánica, es evitar la presencia de grandes áreas de metal noble con respecto a las de metal activo.

2.1.4 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.

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.

La corrosión se cree que juega uno de los siguientes papeles: el calor de la fricción oxida el metal y a continuación el óxido se desgasta, o bien, la remoción mecánica de las partículas protectoras de óxido, o los productos de la corrosión resultantes, dan como resultado la exposición de superficies limpias del metal al medio agresivo, en tal forma que el fenómeno corrosivo se acelera.

La corrosión por deslizamiento se atenúa utilizando materiales de construcción más duros, empleando lubricación o bien incrementando la fricción hasta un punto tal en que el deslizamiento es imposible.

2.1.5 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:

- a).- Cambios de acidez en la grieta o hendidura.
- b).- Escasez de oxígeno en la grieta.
- c).- Desarrollo de iones diferentes en la hendidura.
- d).- Agotamiento de Inhibidor en la grieta.

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.

2.1.6 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 si 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. El 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.

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.

2.1.7 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.

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 dezincificación. 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.

2.1.8 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.

El arreglo atómico y los espaciamentos entre las capas de los granos, son los mismos en todos los cristales de un metal dado; sin embargo, debido a la nucleación al azar, los planos de los átomos en las cercanías de los granos no encajan perfectamente bien y el espacio entre ellos recibe el nombre de límite de grano. Si se dibuja una línea de 2.5 cm de longitud sobre la superficie de una aleación, esta deberá cruzar aproximadamente 1000 límites de grano.

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.

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.

2.2 Naturaleza electroquímica de la corrosión

En conjunto con la fuente de voltaje debe existir un circuito completo; este consiste en dos partes:

2.2.1 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.

2.2.2 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.

2.2.3 Electrolito

Para que se complete el circuito eléctrico la superficie metálica, tanto el cátodo como el ánodo, deben estar cubiertas 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.

La norma NACE RP 169 emite los criterios para la interpretación de potenciales en los sistemas de protección catódica. En el caso de tuberías de hierro y acero el criterio más importante es que se debe tener una potencial más negativo que 820 mv (referido a un electrodo cobre sulfato de cobre), con la corriente de protección catódica aplicada. La combinación de estos tres componentes es conocido como celdas de corrosión.

2.2.4 Ley de la electrolisis

Por definición, la corrosión es la destrucción de un metal o metales, a través de la interacción con un ambiente (ejemplo: suelo o agua) por un proceso electroquímico, es decir, una reacción que envuelve un flujo de corriente eléctrica e intercambio de iones.

En tuberías enterradas, o sumergidas en elementos acuosos, el proceso de corrosión es similar a la acción que tiene lugar en una pila de linterna, formada por un electrodo de carbón que ocupa el centro de la pila y un electrodo de zinc que hace de recipiente, separados ambos electrodos por un electrólito compuesto en esencia por una solución de CINH_4 (fig.1.3). Una lámpara incandescente conectada a ambos electrodos se enciende continuamente debido a la energía eléctrica que suministran las reacciones químicas que tienen lugar en ambos electrodos. En el electrodo de carbón (polo positivo-cátodo), tiene lugar una reducción química y en el electrodo de zinc (polo negativo-ánodo), se realiza la oxidación por la cual el zinc metálico es convertido en iones hidratados, $\text{Zn}^{++} \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Cuanto mayor es el flujo de electricidad a través de la pila, mayor es la cantidad de zinc que se corroe. Esta relación es cuantitativa como la demostró Michael Faraday a principios del siglo XIX (ley de Faraday):

$$\text{Peso del metal reaccionante} = kIt.$$

Donde I es la intensidad en amperios, t es el tiempo y k una constante llamada equivalente electroquímico. El valor de k en el caso del zinc es $3,39 \times 10^{-4} \text{ g/C}$, definiéndose como culombio la cantidad de electricidad que pasa cuando una corriente de 1 A circula en 1 s.

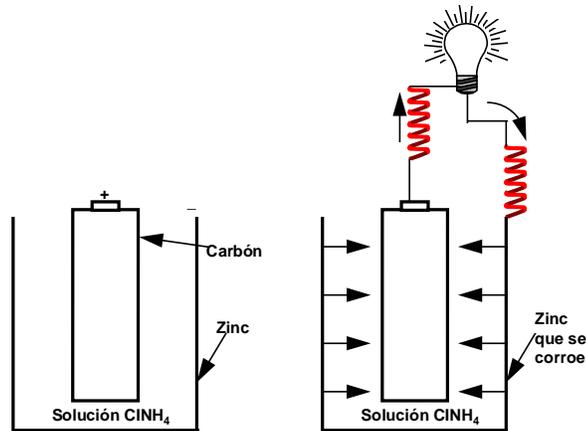


FIGURA 2.3: OXIDACION DEL ZINC EN UNA PILA VERTIDA EN SOLUCIÓN DE CINH4

2.2.5 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.

2.2.6 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.

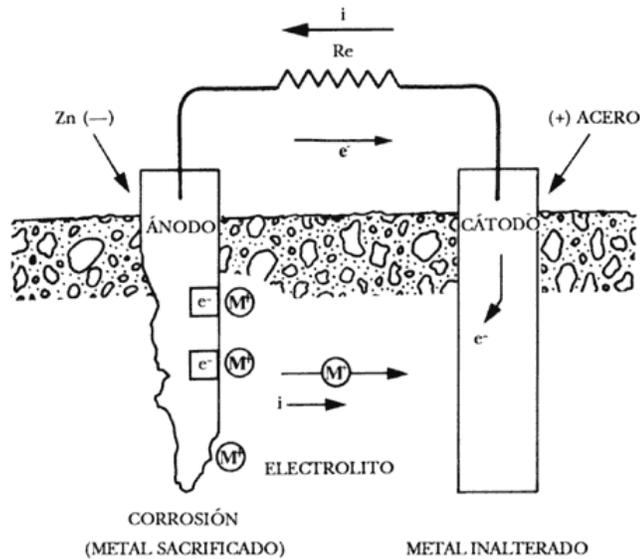


FIGURA 2.4: CONDUCTIVIDAD DE CORRIENTE EN UNA CELDA DE CORROSION

2.2 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 agresivos 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 se muestra el grado de corrosividad en función de la resistividad del suelo.

Grado de corrosividad en función del suelo.

TABLA 1: 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

2.3.1 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

Grado de corrosividad en función del potencial de hidrógeno para el acero

TABLA 2: GRADO DE CORROSIVIDAD EN FUNCIÓN DEL POTENCIAL DE HIDROGENO PARA EL ACERO

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

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

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$$

2.3.2 Gases disueltos

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

2.3.2.1 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 fácilmente 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 electrolítico a la superficie del metal.

2.3.2.2 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.

2.3.2.3 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 Variables físicas

2.4.1 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.

2.4.2 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.

2.5 Reacciones electroquímicas de la corrosión

Al sumergir una placa metálica (hierro) en un electrólito, los átomos del metal tienden a disolverse en forma de IONES llevando consigo una carga eléctrica positiva. Con el desprendimiento del ión de la masa metálica, ésta pierde cargas positivas generando una diferencia de potencial con respecto al electrólito.

Para conocer el valor del potencial que adquiere la masa metálica con respecto al electrólito se utiliza un ELECTRODO de REFERENCIA, estable, (cobre-sulfato de cobre).

Si introducimos otra placa metálica (hierro), en el mismo electrólito, podemos observar que ésta adquiere un potencial diferente a la primera placa, diferencia que pudo haberse originado por factores tales como presencia de impurezas en las placas; diferentes concentraciones del electrólito, etc.

Conectando las dos placas de hierro con un conductor eléctrico, se observan variaciones en las lecturas de potencial en cada una de las placas. Esta diferencia de potencial entre placas dan origen a un flujo de electrones por el conductor metálico. En el conductor metálico los electrones se mueven del material más electronegativo al más electropositivo. El material más electronegativo tiene mayor tendencia a ceder electrones y el más electropositivo, a receptorlos.

2.5.1 Celdas de corrosión

Cuando distintas partes de una masa metálica sumergidas en un electrólito adquieren diferencias de potencial, dan origen a una celda de corrosión. En ésta celda, el material más electronegativo (cede electrones) se lo denomina **ÁNODO** y, el material más electropositivo (recepta electrones) se lo denomina **CÁTODO**. En la celda de corrosión los electrones abandonan el ánodo y se transportan por el conductor metálico para llegar al cátodo. Los electrones salen del ánodo debido a las reacciones de oxidación que ocurren en éste y, la llegada de electrones al cátodo origina reacciones de reducción en las moléculas ó ión del electrólito.

“Las reacciones de oxidación se dan en las zonas anódicas generando la pérdida de masa del material”.

“Las reacciones de reducción se dan en las zonas catódicas, manteniéndolas inalterables”.

Cabe destacar que las celdas de corrosión se encuentran estrechamente vinculadas con el tipo de medio electrolítico como por ejemplo en un suelo seco, es decir con un bajo potencial de humedad la corrosión es despreciable, debido a que su resistividad es extremadamente elevada o a su vez en un suelo húmedo o saturado de agua por dificultarse el acceso de oxígeno hasta la estructura metálica no se favorece la reacción catódica del proceso corrosivo, con lo que el ataque resulta escaso (Royuela 1991).

En el caso de que exista contenido intermedio de humedad (15-50%) es cuando la corrosión suele tener los valores más elevados.

2.5.2 Criterios de Protección Aplicados en Metales

Los procesos de corrosión se producen de la misma forma que las celdas galvánicas funcionan. De esta manera es como nosotros podemos monitorear de manera continua los voltajes y las corrientes asociadas en estructuras metálicas y predecir parámetros de corrosión. La siguiente Tabla muestra una lista de metales de la serie galvánica, ordenados desde los más nobles a los activos.

TABLA 3: SERIE GALVÁNICA PARA METALES

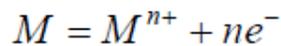
SERIE GALVÁNICA PRACTICA

METAL	VOLTS VS Cu-CuSO₄	VOLTS VS Ag-AgCl
<i>Extremo Anódico o Activo</i>		
Magnesio	-1.60 a -1.75	-1.59 a -1.74
Zinc	-1.10	-1.09
Aluminio	-1.05	-1.04
Acero al Carbono Limpio	-0.50 a -0.80	-0.49 a -0.79
Hiero Dúctil	-0.50	-0.49
Plomo	-0.50	-0.49
Acero en Concreto	-0.20	-0.19
Cobre	-0.20	-0.19
Hierro - Silicio	-0.20	-0.19
Carbón, Grafito	+0.30	+0.31
<i>Extremo Noble o Catódico</i>		

Ecuación de Nernst

Adicionalmente la superficie de un metal es una región estructuralmente inestable, que al contacto con un medio activo, genera una fase de intercambios energéticos

iónicos. Cuando la evolución de los cambios en esta fase tiende hacia un estado de equilibrio, en detrimento del metal, se tiene corrosión de naturaleza electroquímica. Es decir, necesariamente son el resultado de la combinación de reacciones anódicas (de oxidación) y catódica (de reducción). Por ejemplo, se puede considerar la disolución de un metal M, en un medio acuoso para producir iones.



En una celda donde ocurre esta reacción, la energía que se libera se presenta en la siguiente ecuación:

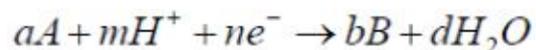
$$\Delta G = -nFE$$

Donde n es el número de electrones en [mol], F es la constante de Faraday, cuyo valor es 96500 [C/mol] y E es la suma de los potenciales anódicos y catódicos de las semireacciones.

De esta ecuación se deduce E y reorganizando se obtiene lo siguiente:

$$e = e^0 + \frac{0.0592}{n} \log \frac{(A)}{(B)} - \frac{m}{n} 0.059 pH$$

Donde:



A la ecuación 7 se la denomina “Ecuación de Nernst” y representa el potencial o fuerza electromotriz de un sistema electroquímico, en función de las actividades iniciales y finales. Adicionalmente para el caso del potencial estándar e° , se

acostumbra hacer la comparación con el denominado “electrodo patrón de hidrógeno”. Experimentalmente la imposibilidad física de medir su potencial directamente, hace que sea necesario aparearlos con “electrodos de referencia”, a los cuales previamente se les ha asignado o medido su potencial.

Diagrama de Pourbaix

Basado en la ecuación de Nernst, M. Pourbaix ideó los diagramas potencial-pH. En la siguiente figura se muestran la relación entre estas dos variables en las diferentes condiciones de equilibrio posibles dentro de un sistema acuoso para el acero.

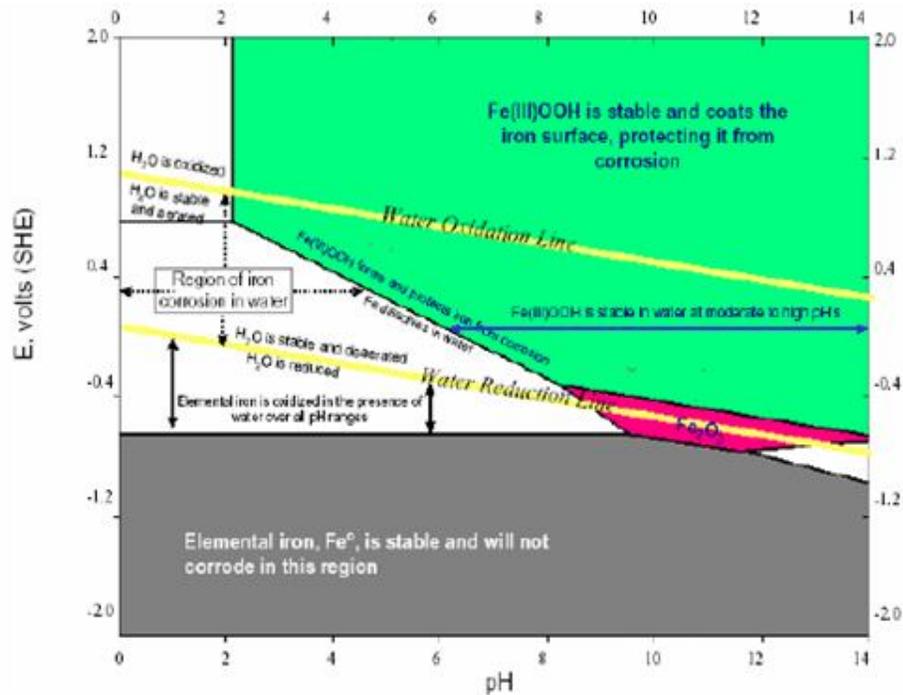


FIGURA 2.5: DIAGRAMA DE POURBAIX

La polarización de los sitios catódicos hasta el potencial a circuito abierto de los sitios anódicos es el verdadero criterio para eliminar la corrosión. Sin embargo, es básicamente imposible determinar el potencial a circuito abierto del sitio anódico más activo. Como las celdas de corrosión generalmente son microscópicas y los potenciales medidos son potenciales de corrosión mixtos, lo más probable es que

las mediciones iniciales sean un promedio de los potenciales de corrosión de muchas celdas. Por lo tanto, se han ido desarrollando varios criterios alternativos para poder aproximarse al criterio verdadero de control de corrosión. NACE International y otras organizaciones internacionales recomiendan varios criterios. Para realizar una interpretación válida de los datos, se hace referencia a caídas de voltaje (caídas IR) distintas a aquellas que se verifican en la interface estructura-electrolito. Los criterios de protección en metales varían según la situación en la cual se encuentre el material. A continuación se presenta dos escenarios en el cual el acero se encuentra involucrado.

Hierro y Acero Enterrados o Sumergidos

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

- 1.- Un potencial negativo (catódico) de al menos 850 mV con la protección catódica aplicada. Este potencial se mide con respecto a un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre en contacto con el electrolito. Para poder interpretar correctamente esta medición, deben tenerse en cuenta las otras caídas de potencial, además de la que tiene lugar en la interface estructura-electrolito.
- 2.-Un potencial polarizado negativo de al menos 850 mV con respecto al electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre.
3. Un mínimo de 100 mV de polarización catódica entre la superficie de la estructura y un electrodo de referencia estable en contacto con el electrolito. La formación o desaparición de la polarización puede medirse para alcanzar este criterio.

2.5.3 Técnicas Preventivas contra la Corrosión en tuberías

Para prevenir o controlar en la parte externa de los sistemas de ductos, los efectos de la corrosión e incrementar la seguridad y vida útil de los ductos, se requiere

aplicar una protección a base de recubrimientos anticorrosivos, cuya selección, preparación, muestreo, inspección y pruebas debe realizarse de acuerdo con los requisitos de calidad y propiedades, exigidos por las normativas nacional e internacionales, incluyendo aspectos de seguridad, salud y protección al medio ambiente. Se debe contar con lineamientos y criterios relacionados con la aplicación de este tipo de recubrimientos, a fin de garantizar la correcta selección y adquisición para una protección efectiva de los ductos.

Para proteger una tubería enterrada o sumergida en interface de la corrosión se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros

- Antecedentes de funcionalidad.
- Temperatura de operación.
- Tipo de suelo y/o agua.
- Condiciones críticas que influyen en el potencial de polarización de la tubería recubierta y sus efectos sobre los recubrimientos y la funcionalidad del sistema de protección catódica.
- Ducto nuevo en DDV nuevo
- Ducto en DDV compartido con líneas de energía.
- Requerimientos mínimos de aceptación para la selección de sistemas genéricos de recubrimiento anticorrosivos.

2.5.4 Recubrimientos

Existen diferentes tipos de recubrimientos que ayudan a proteger y a minimizar el impacto de desgaste en la tubería entre los que comúnmente se utilizan están:

- Recubrimientos a base de bréa de alquitrán de hulla.
- Componentes de envoltentes soportados
- Primarios de alquitrán de hulla aplicados en frío
- Recubrimientos epóxicos en polvo adheridos por fusión.
- Recubrimientos epóxicos líquidos de altos sólidos.

- Primarios epóxicos en polvo
- Epóxicos líquidos
- Adhesivos de polietileno
- Resinas base de polietileno
- Recubrimientos de polietileno extruído tricapa
- Primario epóxico en polvo
- Adhesivos de polipropileno
- Acabado de polipropileno
- Recubrimientos de polipropileno extruído tricapa
- Recubrimientos de cintas de poliolefinas.
- Cintas sensibles a la presión
- Cintas laminadas
- Recubrimientos multicapa de cintas de poliolefinas
- Recubrimientos de cintas y mangas termocontraíbles.
- Recubrimientos a base de ceras microcristalinas de petróleo.
- Ceras aplicadas en frío de recubrimientos a base de poliuretanos.

Criterios de aceptación antes de la colocación.

a) **Grado de limpieza.-** Se considera la superficie limpia o preparada por recubrirse, cuando no haya huellas de grasa, aceite u otras sustancias extrañas. Su aceptación es bajo criterio de examen visual según los patrones descritos en 8.4.3. La calificación del grado de limpieza debe realizarse mediante comparación con patrones de limpieza reconocidos internacionalmente como por ejemplo: el comparador visual NACE TM 0175, o fotográficos como el ISO 8501-1:1988 ó el SSPC VIS 1-89.

b) **Perfil de anclaje.-** Para comprobar que la profundidad del anclaje es la especificada, la superficie preparada se debe comparar con la del patrón aceptada para cada sistema de recubrimiento, utilizando la lámpara comparadora de anclaje. Además se pueden emplear también métodos como la medición directa del perfil

de anclaje por medio de un rugosímetro de aguja o la medición indirecta del mismo mediante el uso de cinta réplica y un micrómetro de yunque.

Durante la aplicación del recubrimiento se debe verificar lo siguiente:

Temperatura, tiempos de curado y secado deben ser los especificados por el fabricante así como verificar la homogeneidad en las diferentes capas del recubrimiento.

En el caso de cintas se debe chequear que la tensión de aplicación sea la correcta y que los traslapes se lleven a cabo con lo especificado se debe verificar el espesor de película húmeda.

Después de la aplicación del recubrimiento:

Se debe realizar, con el detector, una inspección de discontinuidad eléctrica de todo el recubrimiento exterior aplicado a la tubería, para localizar fallas como son: partes sin revestir, picaduras, grietas y discontinuidades. Cualquier falla detectada o no cumplimiento de los requerimientos, debe ser marcado en forma visible y registrado para proceder a su reparación.

El espesor del recubrimiento debe ser inspeccionado de acuerdo a lo determinado en la sección dependiendo del material de recubrimiento utilizado.

El número de capas y espesor de película cumplan con las especificaciones del sistema.

Se debe mostrar evidencia de los resultados de las pruebas establecidas para el sistema de recubrimiento aplicado sobre la tubería, mediante las cuales se compruebe que el recubrimiento cumple con las especificaciones correspondientes, sin ser limitativo, entre otras:

- Adherencia.
- Curado.
- Espesores de película.
- Apariencia del producto después de aplicado.

·Continuidad de película.

2.6 Sistemas de Protección catódica

La protección catódica es un método electroquímico cada vez más utilizado hoy en día, que aprovecha el mismo principio electroquímico de la corrosión, transportando un gran cátodo a una estructura metálica, ya sea que se encuentre enterrada o sumergida. Para este fin será necesaria la utilización de fuentes de energía externa mediante el empleo de ánodos galvánicos, que difunden la corriente suministrada por un transformador-rectificador de corriente.

El mecanismo, consecuentemente implicará una migración de electrones hacia el metal a proteger, los mismos que viajarán desde ánodos externos que estarán ubicados en sitios plenamente identificados, cumpliendo así su función

A esta protección se debe agregar la ofrecida por los revestimientos, como por ejemplo las pinturas, casi la totalidad de los revestimientos utilizados en instalaciones enterradas, aéreas o sumergidas, son pinturas industriales de origen orgánico, pues el diseño mediante ánodo galvánico requiere del cálculo de algunos parámetros, que son importantes para proteger estos materiales, como son: la corriente eléctrica de protección necesaria, la resistividad eléctrica del medio electrolito, la densidad de corriente, el número de ánodos y la resistencia eléctrica que finalmente ejercen influencia en los resultados.

Para conseguir la protección catódica es necesario conectar con la estructura a proteger algún elemento que tenga una diferencia de potencial con la misma, suficiente para hacer circular la corriente en el sentido deseado.

Al observar la serie electroquímica de los metales de la Tabla 4, se aprecia que están ordenados según sus potenciales tomando como cero el Hidrógeno.

TABLA 4: SERIE ELECTROQUÍMICA PARA METALES

Iones	potencial	Iones	potencial
Li+	-3.022	Ni ⁺⁺	-0.22
Rb+	-2.924	Sn ⁺⁺	-0.136
K+	-2.925	Pb ⁺⁺	-0.129
Na+	-2.715	H ⁺⁺ "	0.000
Mg+	-1.866	Bi ⁺⁺⁺	+0.226
Al ⁺⁺⁺	-1.67	Cu ⁺⁺	+0.344
Zn ⁺⁺	-0.762	Te ⁺⁺⁺⁺	+0.558
Cr ⁺⁺	-0.71	Hg ⁺⁺	+0.798
Fe ⁺⁺	-0.441	Ag+	+0.799

Cd ⁺⁺	-0.397	Pt ⁺⁺	+1.2
Ti ⁺	-0.336	Au ⁺⁺⁺	+1.42
Co ⁺⁺	-0.29	-----	

Si se conecta un trozo de hierro cuyo potencial es de -0.441 V, con un trozo de zinc cuyo potencial es de -0.762 V, la diferencia existente establecerá una corriente eléctrica a través del electrolito, del zinc (ánodo) al hierro (cátodo). Se realiza la protección catódica del hierro sacrificando un trozo de zinc. Este método se denomina protección catódica por ánodos de sacrificio y se consigue uniendo el metal a proteger con otro que sea más electronegativo que él en la Tabla I.

Observamos que la diferencia de potencial de que se dispone en el ejemplo anterior es de unos 320 mV, que divididos por la resistencia eléctrica del circuito nos da la intensidad disponible.

En realidad los potenciales de la Tabla 4 se dan en unas circunstancias y electrolitos especiales (Potenciales Normales de disolución de NERNST) y en la realidad, deben usarse las series galvánicas de los metales y aleaciones en los medios (electrolitos) en que realmente se encuentren.

En la primera columna de la Tabla 5, los metales están clasificados por su nobleza termodinámica, mientras que en la segunda columna se ha tenido en cuenta también la pasivación.

TABLA 5: CLASIFICACIÓN DE METALES Y NO METALES POR ORDEN DE NOBLEZA TERMODINÁMICA

<i>METALES NOBLES</i>	
1 Oro	Rodio 1
2 Iridio	Niobio 2
3 Platino	Tántalo 3
4 Rodio	Oro 4
5 Rutenio	Iridio 5
6 Paladio	Platino 6
7 Mercurio	Titanio 7
8 Plata	Paladio 8
9 Osmio	Rutenio 9
10 Selenio	Osmio 10
11 Telurio	Mercurio 11
12 Polonio	Galio 12
13 Cobre	Circonio 13
14 Tecnecio	Plata 14
15 Bismuto	Estaño 15
16 Antimonio	Cobre 16
17 Arsénico	Hafnio 17
18 Carbono	Berilio 18
19 Plomo	Aluminio 19
20 Renio	Indio 20
21 Niquel	Cromo 21
22 Cobalto	Selenio 22
23 Talio	Tecnecio 23
24 Cadmio	Telurio 24
25 Hierro	Bismuto 25
26 Estaño	Polonio 26
27 Molibdeno	Tungsteno 27
28 Tungsteno	Hierro 28
29 Germanio	Niquel 29
30 Indio	Cobalto 30
31 Galio	Antimonio 31
32 Zinc	Arsénico 32
33 Niobio	Carbono 33

34 Tántalo	Plomo 34
35 Cromo	Renio 35
36 Vanadio	Cadmio 36
37 Manganeso	Zinc 37
38 Circonio	Molibdeno 38
39 Aluminio	Germanio 39
40 Hafnio	Vanadio 40
41 Titanio	Magnesio 41
42 Berilio	Talio 42
43 Magnesio	Manganeso 43
METALES NO NOBLES	NOBLEZA
PRÁCTICA	
NOBLEZA (pasivación)	(Inmunidad y pasivación)
TERMODINÁMICA	
(Inmunidad)	

2.6.1 Sistema de protección catódica por Ánodos Galvánicos

Se fundamenta en el mismo principio de la corrosión galvánica, en la que un metal más activo es anódico con respecto a otro más noble, corroyéndose el metal anódico.

En la protección catódica con ánodos galvánicos, se utilizan metales fuertemente anódicos conectados a la tubería a proteger, dando origen al sacrificio de dichos metales por corrosión, descargando suficiente corriente, para la protección de la tubería.

La diferencia de potencial existente entre el metal anódico y la tubería a proteger, es de bajo valor porque este sistema se usa para pequeños requerimientos de corriente, pequeñas estructuras y en medio de baja resistividad.

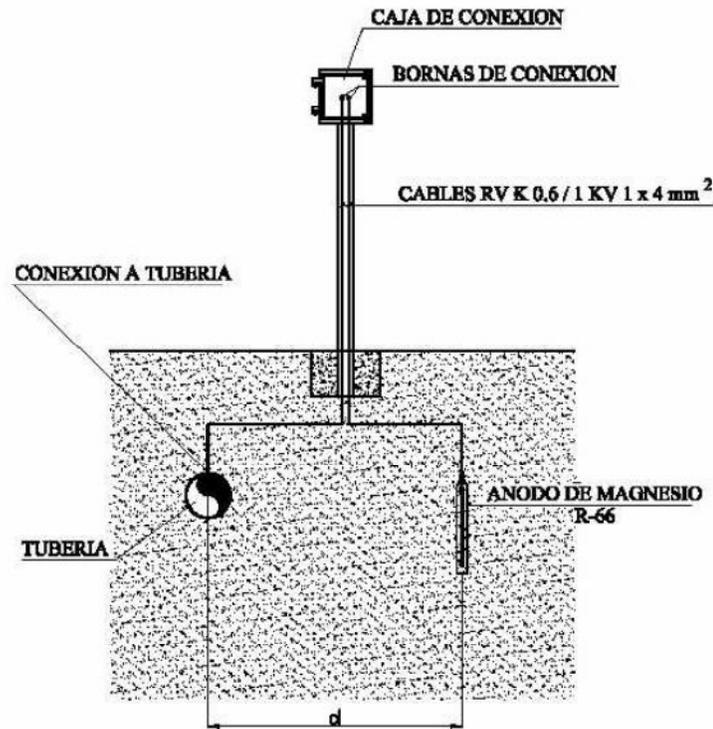


FIGURA 2.6: SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR ÁNODOS GALVÁNICOS

CARACTERÍSTICAS DE UN ÁNODO DE SACRIFICIO

1. Debe tener un potencial de disolución lo suficientemente negativo, para polarizar la estructura de acero (metal que normalmente se protege) a -0.8 V. Sin embargo el potencial no debe de ser excesivamente negativo, ya que eso motivaría un gasto superior, con un innecesario paso de corriente. El potencial práctico de disolución puede estar comprendido entre -0.95 a -1.7 V;
2. Corriente suficientemente elevada, por unidad de peso de material consumido;
3. Buen comportamiento de polarización anódica a través del tiempo;
4. Bajo costo.

TIPOS DE ÁNODOS

Considerando que el flujo de corriente se origina en la diferencia de potencial existente entre el metal a proteger y el ánodo, éste último deberá ocupar una posición más elevada en la tabla de potencias (serie electroquímica o serie galvánica).

Los ánodos galvánicos que con mayor frecuencia se utilizan en la protección catódica son: Magnesio, Zinc, Aluminio.

- **Magnesio:** Los ánodos de Magnesio tienen un alto potencial con respecto al hierro y están libres de pasivación. Están diseñados para obtener el máximo rendimiento posible, en su función de protección catódica. Los ánodos de Magnesio son apropiados para oleoductos, pozos, tanques de almacenamiento de agua, incluso para cualquier estructura que requiera protección catódica temporal.
- Se utilizan en estructuras metálicas enterradas en suelo de baja resistividad hasta 3000 ohmio-cm.
- **Zinc:** Para estructura metálica inmersas en agua de mar o en suelo con resistividad eléctrica de hasta 1000 ohm-cm
- **Aluminio:** Para estructuras inmersas en agua de mar.

RELLENO BACKFILL

Para mejorar las condiciones de operación de los ánodos en sistemas enterrados, se utilizan algunos rellenos entre ellos el de Backfill especialmente con ánodos de Zinc y Magnesio, estos productos químicos rodean completamente el ánodo produciendo algunos beneficios como:

Promover mayor eficiencia;

Desgaste homogéneo del ánodo;

Evita efectos negativos de los elementos del suelo sobre el ánodo;

Absorben humedad del suelo manteniendo dicha humedad permanente.

La composición típica del Backfill para ánodos galvánicos está constituida por yeso (CaSO_4), bentonita, sulfato de sodio, y la resistividad de la mezcla varía entre 50 a 250 ohm-cm.



FIGURA 2.7: SACOS DE RELLENO BACKFILL

TABLA 6: CARACTERÍSTICAS DE ANODOS GALVANICOS.

	ÁNODO ZINC	ÁNODO MAGNESIO	ÁNODO ALUMINIO
EFICIENCIA	95%	50%	95%
RENDIMIENTO AM-HR/KG	778	1102	2817
CONTENIDO DE ENERGÍA AM- HR/KG	820	2204	2965
POTENCIAL DE TRABAJO(VOLTIO)	-1.10	-1.45 A -1.70	-1.10

RELLENO	50%	75%	Yeso;20%
	YESO;50%	Bentonita;5%	
	Bentonita	SO ₄ Na ₂	

TABLA 6: CARACTERÍSTICAS DE ÁNODOS GALVÁNICOS.

Ventajas:

- Funcionan independientemente de una fuente de energía eléctrica.
- Su instalación es simple, y si después de una inspección no se obtienen los niveles deseados de protección, pueden fácilmente añadirse nuevos ánodos.
- Nunca pueden estar incorrectamente unidos a la estructura.
- No hay que ejercitar funciones de control del sistema sino sólo la toma de potencial.
- Difícilmente se dan problemas por sobreprotección.
- Es fácil obtener distribuciones uniformes de potencial en una estructura.
- La interferencia con estructuras enterradas es prácticamente nula.
- Mantenimiento simple.

Desventajas

- Sólo se pueden emplear en medios de baja resistividad hasta 5000 Ω .cm.
- Son necesarias grandes cantidades de ánodos para proteger grandes superficies.
- En instalaciones enterradas, la sustitución al cabo de los años supone un elevado coste de obra civil.
- Sólo es aplicable en pequeñas longitudes de tuberías.

2.6.2 Sistemas de protección catódica por corrientes impresas

En este sistema se mantiene el mismo principio fundamental, pero tomando en cuenta las limitaciones del material, costo y diferencia de potencial con los ánodos de sacrificio, se ha ideado este sistema mediante el cual el flujo de corriente

requerido, se origina en una fuente de corriente generadora continua regulable o, simplemente se hace uso de los rectificadores, que alimentados por corriente alterna ofrecen una corriente eléctrica continua apta para la protección de la estructura.

La corriente externa disponible es impresa en el circuito constituido por la estructura a proteger y la cama anódica.

La dispersión de la corriente eléctrica en el electrolito se efectúa mediante la ayuda de ánodos inertes cuyas características y aplicación dependen del electrolito.

El terminal positivo de la fuente debe siempre estar conectado a la cama de ánodo, a fin de forzar la descarga de corriente de protección para la estructura.

Este tipo de sistema trae consigo el beneficio de que los materiales a usar en la cama de ánodos se consumen a velocidades menores, pudiendo descargar mayores cantidades de corriente y mantener una vida más amplia.

En virtud de que todo elemento metálico conectado o en contacto con el terminal positivo de la fuente e inmerso en el electrolito es un punto de drenaje de corriente forzada y por lo tanto de corrosión, es necesario el mayor cuidado en las instalaciones y la exigencia de la mejor calidad en los aislamientos de cables de interconexión

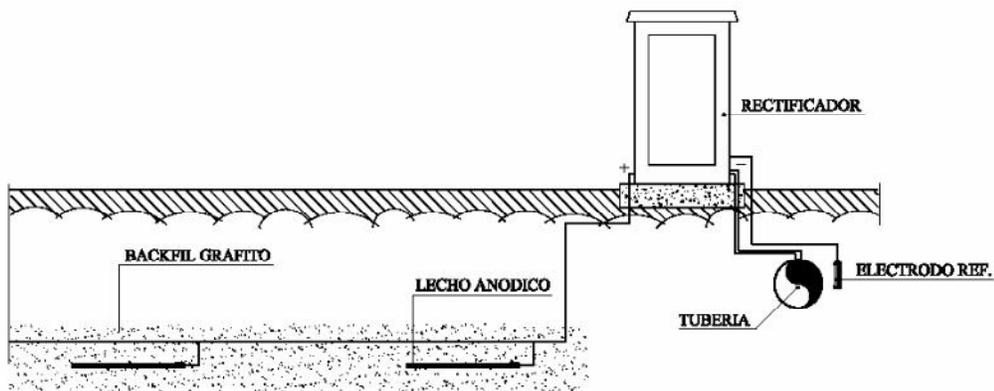


FIGURA 2.8: SISTEMA DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTES IMPRESAS

2.6.2.1 Ánodos utilizados en la corriente impresa

Chatarra de hierro: Por su economía es a veces utilizado como electrodo dispersor de corriente, este tipo de ánodo, puede ser aconsejable su utilización en terrenos de resistividad elevada y es aconsejable se rodee de un relleno artificial constituido por carbón de coque.

El consumo medio de estos lechos de dispersión de corriente es de 9 Kg/Am*Año

Ferro silicio: Este ánodo es recomendable en terrenos de media y baja resistividad. Se coloca en el suelo incado o tumbado rodeado de un relleno de carbón de coque.

A intensidades de corriente baja de 1 A, su vida es prácticamente ilimitada, siendo su capacidad máxima de salida de corriente de unos 12 a 15 A por ánodo. Su consumo oscila a intensidades de corriente altas, entre 0.5 a 0.9 Kg/A*Año.

Su dimensión más normal es la correspondiente a 1500 mm de longitud y 75 mm de diámetro.

Grafito: Puede utilizarse principalmente en terrenos de resistividad media y se utiliza con relleno de grafito o carbón de coque.

Es frágil, por lo que su transporte y embalaje debe ser de cuidado. Sus dimensiones son variables, su longitud oscila entre 1000-2000 mm, y su diámetro entre 60-100 mm, son más ligeros de peso que los ferrosilicios.

La salida máxima de corriente es de 3 a 4 amperios por ánodo, y su desgaste oscila entre 0.5 y 1 Kg/Am*Año

Titanio-Platinado: Este material está especialmente indicado para instalaciones de agua de mar, aunque sea perfectamente utilizado en agua dulce o incluso en suelo.

Su característica más relevante es que a pequeños voltajes (12 V), se pueden sacar intensidades de corriente elevada, siendo su desgaste perceptible. En agua de mar tiene, sin embargo, limitaciones en la tensión a aplicar, que nunca puede pasar de 12 V, ya que ha tensiones más elevadas podrían ocasionar el despegue de la capa

de óxido de titanio y, por lo tanto la deterioración del ánodo. En aguas dulce que no tengan cloruro pueden actuar estos ánodos a tensiones de 40-50 V.

En general, los ánodos mas utilizados son los de tipo permanente. En instalaciones enterradas se suelen utilizar de titanio MMO, ferrosilicio o grafito, rodeados de un backfill que mejora sus condiciones de trabajo. (El backfill es un tipo de carbón que mejora la superficie de contacto, reduce la resistencia con el terreno y permite la difusión de los gases producidos en las reacciones anódicas).

Cuando los ánodos están sumergidos no llevan backfill, y suelen emplearse de titanio platinado, tántalo-platinado, plomo-plata, plomo-platino, ferrosilico o titanio MMO. También se utilizan ánodos continuos de polímeros y carbono, aunque tienen poca capacidad de salida de corriente.

La Tabla IV compara distintos tipos de ánodos para corriente impresa.

TABLA 7: CARACTERÍSTICAS DE ÁNODOS PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTES IMPRESAS.

	CARACTERÍSTICAS			TIPO DE ÁNODOS		
	Ti Metal Mixed Oxides	Pt/Ti	Grafito	Pb/Ag	Fe/Si	magnetita
Densidad [gr/cm ³]	4-6	4-6	1-3	12	8	3-5
Densidad de corriente Normal [mA/cm ²]	80-100	30-80	0.1-0.4	6-18	1-2	8-10
[mg/A año]	4-5	6	250.10	68.10 ³	250.10 ³	1.5.10 ³

Ventajas

- Tiene la capacidad de suministrar altas corrientes, para proteger grandes superficies, incluso no recubiertas y en medios de altas resistividades.

- Requiere de menor número de ánodos.
- Puede controlarse la protección del sistema, ajustando la corriente de salida.
- Con el uso de sistemas automáticos, se garantiza una correcta protección nunca sobreprotección, pudiéndose además enviar controles del funcionamiento del sistema mediante comunicaciones específicas (digitales, analógicas).
- La centralización del lecho de ánodos facilita la instalación y los trabajos complementarios.

Desventajas:

- La necesidad de una fuente de energía externa.
- La posibilidad de sobreprotección, y los daños que ésta pueda ocasionar, cuando el sistema está mal ajustado, o si se implementa un sistema sin regulación automática.
- La dificultad de obtener una distribución uniforme en elementos de formas complejas.
- El riesgo de que si la conexión (polo negativo) al elemento a proteger se invierte, se provoque una corrosión acelerada.
- El factor económico será, en la mayoría de ocasiones, el que determine el tipo de instalación de protección catódica a emplear.

2.6.2.2 Fuente de corriente

EL RECTIFICADOR: Es un mecanismo de transformación de corriente alterna a corriente continua, de bajo voltaje mediante la ayuda de diodos de rectificación, comúnmente de selenio o silicio y sistemas de adecuación regulable manual y/o automática, a fin de regular las características de la corriente, según las necesidades del sistema a proteger



FIGURA 2.9: RECTIFICADORES PARA EL USO DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTES IMPRESAS.

Las condiciones que se deben estimar para escoger un rectificador son:

- Características de la corriente alterna disponible en el área (voltios, ciclos, fases);
- Requerimiento máximo de salida en C.D (Amperios y Voltios);
- Sistemas de montaje: sobre el piso, empotrado en pared, en un poste;
- Tipos de elementos de rectificación: selenio, silicio;
- Máxima temperatura de operación;
- Sistema de seguridad: alarma, breaker, etc;
- Instrumentación: Voltímetros y Amperímetros, sistemas de regulación;

OTRAS FUENTES DE CORRIENTES: Es posible que habiendo decidido utilizar el sistema de corriente impresa, no se disponga en la zona de líneas de distribución de corriente eléctrica, por lo que sería conveniente analizar la posibilidad de hacer uso de otras fuentes como:

Baterías, de limitada aplicación por su bajo drenaje de corriente y vida limitada;
Motores generadores, generadores termoelectrónicos.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Alimentación entrada:

- 125/220/380/480 V CA 50/60 Hz mono o bifásica

Salida:

- 12/24/50/80 V CC
- Opción filtrado 5 ó 8% rizado
- Rendimiento > 80%

Protecciones:

- Magnetotérmico en alimentación CA
- Fusibles en: CA Trafo, CA control, CA enchufe, Salida CC+ y Salida DC-
- Sobretensiones: Alimentación CA, Salida CC+, Salida CC-, Entrada electrodo referencia R+, y Entrada electrodo Referencia R-
- A prueba de cortocircuitos

Refrigeración:

- Por aire no forzada/forzada por ventilador con filtro
- Por aceite en contenedores estancos

Temperatura de trabajo:

- -25° C a +55° C

CAPÍTULO 3

3 Diseño del sistema de protección catódica por corrientes impresas

En el diseño del sistema de protección catódica de un tramo de tubería enterrada se deben analizar factores importantes: la longitud, la profundidad a la que irá enterrada la tubería y las condiciones y características del suelo que será el electrolito del sistema.

Es importante determinar el tipo de protección catódica que se utilizara como son protección catódica por ánodos galvánicos (ánodos de sacrificio) y protección catódica por corrientes impresas.

Como se ha mencionado anteriormente el sistema de protección catódica por ánodos galvánicos tiene sus limitaciones en la longitud de la tubería, la cantidad de ánodos necesarios para proteger superficies de tamaño considerables siendo estos factores suficientes para no seleccionar este tipo de protección por la longitud de tubería que se debe proteger haciendo a la protección catódica por

corrientes impresas la más viable adecuada en este proyecto de implantación por proporcionar altas cantidades de corrientes de protección a la tubería:

Los factores que se busca evitar con el sistema de protección catódica por corrientes impresas son:

- Pérdida del producto (fuga de gas).
- Aumento del riesgo de incendio y explosión (consecuencia de fuga).
- Aumento del riesgo de contaminación ambiental.
- Paros del servicio.
- Contaminación del producto.
- Elevados costes de reparación.
- Degradación prematura de la estructura por un ataque agravado de corrosión.

Cuando diseñamos un sistema de protección catódica mediante corrientes impresas se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones y parámetros:

- Resistividad del medio
- Detección de tuberías extranjeras
- Corriente de protección
- Ánodos (tipo, masa, material y distribución)
- Selección del cable
- Voltaje del rectificador
- Montaje
- Instrumentos de medición (multímetro, medidor de resistividad y sistemas de regulación).

3.1 Características de la tubería

La especificación API-5L contempla diversos grados de acero al carbono que son los que muestra la tabla:

TABLA 8: GRADOS DE ACERO AL CARBONO SEGUN API 5L.

GRADO	LIMITE ELASTICO		CARGA DE ROTURA	
	PSI	MPa	PSI	MPa
A25	25.000	(172)	45.000	(310)
A	30.000	(207)	48.000	(331)
B	35.000	(241)	60.000	(413)
X42	42.000	(289)	60.000	(413)
X46	46.000	(317)	63.000	(434)
X52	52.000	(358)	66.000	(455)
X56	56.000	(386)	71.000	(489)
X60	60.000	(413)	75.000	(517)
X65	65.000	(448)	77.000	(530)
X70	70.000	(482)	82.000	(565)
X80	80.000	(551)	90.000	(620)

El ducto de gas de GLP será de una tubería de 12 pulgadas de diámetro API 5L X52, como refleja la tabla, posee un límite elástico de 52000 psi y una carga de ruptura de 66000 psi dadas por las normas API 5l.

Para canalizaciones de gas se utilizan habitualmente aceros correspondientes al grado B y al grado X42, cuyas características mecánicas cubren holgadamente los requerimientos de una presión de hasta 4 bar, pero en este caso por condiciones geológicas y operacionales se trabajara con una tubería x52.



FIGURA 3.1: DUCTO DE GLP FLOPEC-MONTEVERDE.

Diámetro nominal: queda definido en el proyecto de la canalización como función del caudal que debe vehicular la misma y de la pérdida de carga disponible.

Para cada diámetro nominal, que se expresa en pulgadas, el diámetro exterior real correspondiente es el indicado en la tabla ., que es un resumen de la correspondiente contenida en la API 5L.



FIGURA 3.2: DIÁMETRO NOMINAL DUCTO DE GLP

TABLA 9: TABLA DE DIÁMETROS EXTERIORES Y NOMINALES DE TUBERIAS DE ACERO.

DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO EXTERIOR (MM)
1"	33,4
1 1/2"	48,3
2"	60,3
3"	88,9
4"	114,3
6"	168,3
8"	219,1
10"	273,0
12"	323,8
14"	355,6
16"	406,4
20"	508,0

En la tabla 9 se han incluido los diámetros estándares más habituales. Otros diámetros, también estándares pero de uso menos frecuente, están contemplados en la especificación API 5L.

Espesor: queda definido por la presión interior de diseño de la canalización y por las cargas externas que debe soportar la misma.

Para el cálculo del espesor de pared mínimo para una presión dada es de aplicación la norma UNE 60.309. Según esta, el espesor mínimo admisible se define por:

$$t = PD / 20 \times Le \times F \times C$$

Siendo:

t = espesor de pared (mm)

P = presión de diseño (bar)

D = diámetro exterior de la tubería (mm)

Le = límite elástico mínimo especificado de la tubería (N/mm²)

F = coeficiente de emplazamiento, definido con las normas UNE 60.305 y 60.302

C = eficiencia de la soldadura, definido en la UNE 60.309

No obstante lo anterior, la norma UNE 60.309 establece un espesor mínimo en función del diámetro nominal de la tubería que, en el caso de ser superior al obtenido mediante la fórmula anterior, debe ser el adoptado.

No es necesario considerar las cargas externas salvo que sobre la canalización exista una carretera con tráfico pesado o una vía de ferrocarril. En tal caso, el espesor de pared adoptado para resistir la presión interna debe revisarse de acuerdo con la recomendación API RP 1102.

Por último, al acopiar la tubería debe tenerse en cuenta que el espesor adoptado tenga un valor estándar superior al definido por cálculo. La especificación API 5L también marca estos espesores (tabla 1.10.).

TABLA 10: ESPEORES ESTANDAR SEGUN API 5L.

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared	
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)
12	300	12.750	323,8	0.203	5.16
				0.219	5.56
				0.250	6.35
				0.281	7.14
				0.312	7.92
				0.330	8.38
				0.344	8.74
				0.375	9.52
				0.406	10.31
				0.438	11.13
				0.500	12.70
				0.562	14.27
				0.688	17.28
				0.844	21.44
				1.000	25.40
1.125	28.57				
1.312	33.32				

La tabla 10. Es un resumen correspondiente de la especificación API 5L, considerando espesores de pared tales que, al menos:

Cumplan los valores mínimos que señala la norma UNE 60.309 y que sean capaces de soportar una presión interna de diseño de 16 bar aplicando la UNE 60.309 y considerando:

$$Le = 241 \text{ N/mm}^2$$

$$F = 0,4$$

$$C = 1$$

- **Diámetro:** las longitudes estándar, también marcadas en API 5L son las siguientes:

TABLA 11: CLASIFICACIÓN DE LARGOS SEGÚN LA LONGITUD DE LA TUBERÍA

Longitud (m)	Denominación
6	Largo sencillo
12	Largo doble
15	--
18	--
24	--

Por lo general, la tubería para canalizaciones de gas se suministra en largos dobles (12 m). Dimensiones superiores presentan problemas de transporte, ya que requieren transporte especial. Los largos sencillos, por su parte, implican mayor trabajo de soldadura.

Los extremos pueden ser planos o bien con bisel, lo que facilita el posterior trabajo de soldadura. En este último caso, la preparación debe ser en V, con un ángulo de 30° y un talón de 1.6 mm.

3.2 Características del medio electrolítico

Las características del suelo se refiere al análisis de de agresividad corrosiva en el área donde va a ir enterrada la tubería por medio de métodos químicos y geofísicos tales como: medición del pH (potencial de hidrogeno), análisis de iones de cloruros, iones de sulfato, humedad, medición de resistividad.

Para caracterizar el medio electrolito del sistema se procedió a tomar muestras del terreno a lo largo del tramo donde va la tubería enterrada basados en los métodos del libro Peabody 2001 control de corrosión en tuberías.

Se ha podido determinar por simple inspección y por pruebas de resistividad que el tramo de tubería atraviesa una zona altamente salina ya que junto a las instalaciones se encuentran los pozos de sal pertenecientes a Ecuasal, donde se puede apreciar un suelos con extractos de cloruro de sodio en su capa superficial debido a la falta de drenaje y elevado porcentaje de evaporación, lo cual origina

la mencionada acumulación de sales. Principalmente contienen cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos de sodio, calcio, magnesio, potasio, y también pueden proceder de las sales contenidas en aguas que han atravesado capas geológicas.



FIGURA 3.3: INSTALACIONES DE ECUASAL CERCANAS AL DUCTO DE GLP MONTEVERDE.

Resistividad del suelo:

Se procedió a medir la resistividad del suelo donde va a ir enterrada la tubería por el método de Four-Pin Method Wenner que es el más comúnmente utilizado basado en la norma NACE RP0502-2002 y que es claramente descrito en la Norma ASMT G 57-95a (Reapproved 2001) Standard Test Method for Field Measurement of Soil

Resistivity Using the Wenner Four-Electrode (Baboian,2006).

Las especificaciones del equipo utilizado son:

TABLA 12: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL RESISTIVÍMETRO NELSON 400

Equipo	Resistivímetro
Marca	Model 400 Nilson Electrical

Resolución	1 V
Supresión de ruido	> 95db 50-60Hz
Precisión general	±2%
Dimensiones	0,11x0,33x0,30 m
Peso	5,6 kg incluyendo batería



FIGURA 3.4: RESISTIVÍMETRO MODELO NILSSON 400 ELECTRICO

La resistividad se representa por la letra (ρ) y se calcula mediante las siguientes formulas:

$$(\rho)=2*\pi*d*R$$

Donde:

- (ρ): resistividad (ohm-cm)
- (π): pi (3.1416) a dimensional
- d: distancia entre electrodos (cm)
- R: resistencia del suelo (ohm)

Se tomaron 2 muestras a diferentes distancias de electrodos:

Muestra1:

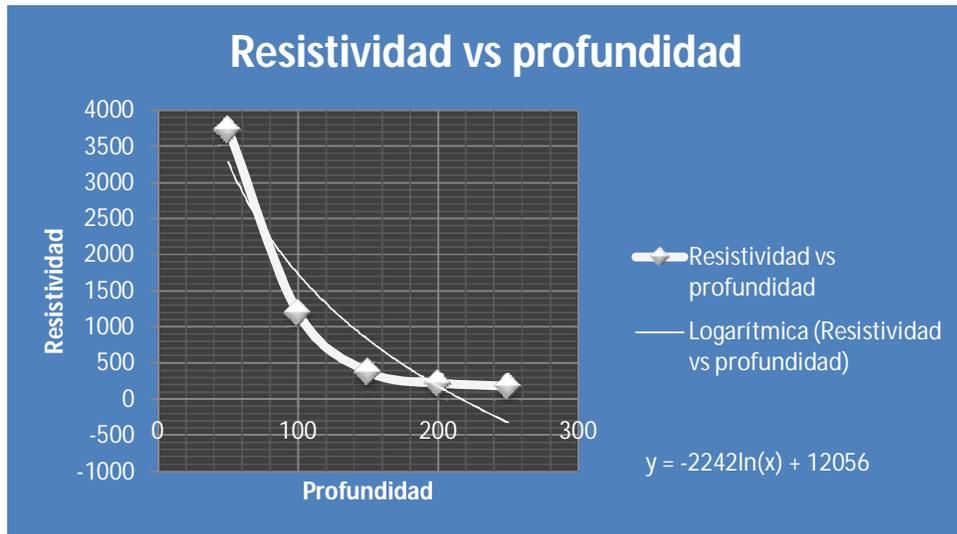
Separación de electrodos 50, 100, 150, 200, 250 cm.

Cabe mencionar que la separación de las varillas representa la profundidad a la que se toma la resistencia del suelo.

TABLA 13: VALORES DE RESISTIVIDAD EN LA MUESTRA 1 SECTOR MONTEVERDE

Distancia de varillas (cm)	Resistencia del suelo (ohm)	Resistividad (ohm-cm)
50	11.87	3730
100	1.89	1193
150	0.40	376.99
200	0.17	220.60
250	0.11	180.50
Resistividad promedio en los tres últimos puntos		259.36

Grafico:



**FIGURA 3.5: CURVA DE RESISTIVIDAD VS PROFUNDIDAD
MUESTRA 1**

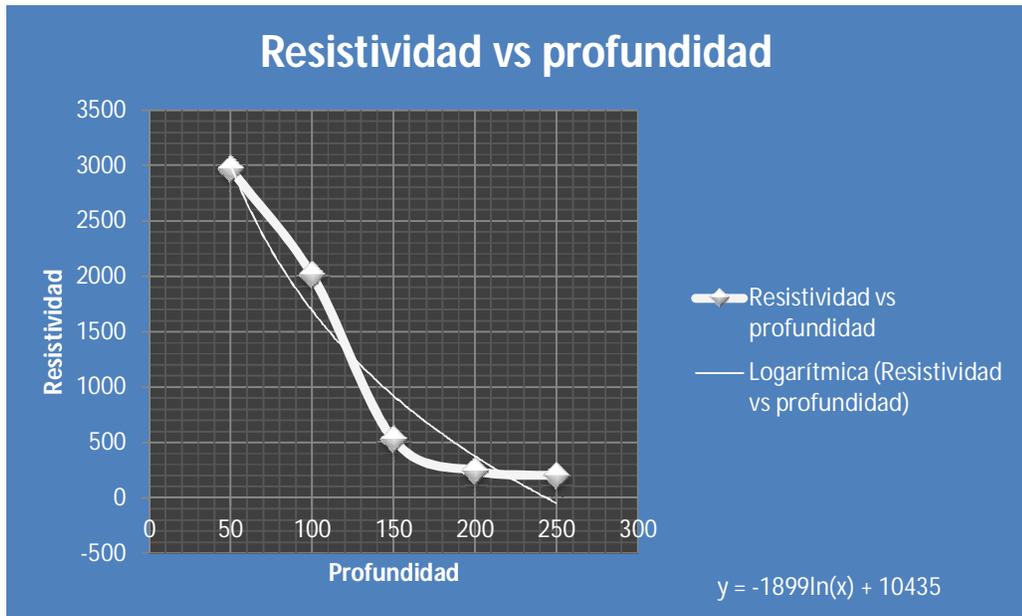
Muestra 2:

Separación de electrodos 50, 100, 150, 200, 250 cm.

**TABLA 14: VALORES DE RESISTIVIDAD EN LA MUESTRA 2 SECTOR
MONTEVERDE**

Distancia de varillas (cm)	Resistencia del suelo (ohm)	Resistividad (ohm-cm)
50	9.45	2968.80
100	3.2	2010.61
150	0.55	525.30
200	0.19	240.80
250	0.12	198
Resistividad promedio en los tres últimos puntos		321.36

Grafico:



**FIGURA 3.6: CURVA DE RESISTIVIDAD VS PROFUNDIDAD
MUESTRA 2**

**TABLA 15: RESISTIVIDAD PROMEDIO DE LA MUESTRA 1 Y 2
SECTOR MONTEVERDE**

muestra	Resistividad ohm-cm
1	259.36
2	321.36
Resistividad promedio	290.36



FIGURA 3.7: MEDICION DE RESISTIVIDAD DEL SUELO EN EL SECTOR MONTEVERDE

Potencial de hidrógeno en el suelo (ph)

Puesto que la descarga de iones de hidrógeno tiene lugar en la mayoría de las reacciones de la corrosión, un factor sumamente importante es la acidez de una solución representada por la concentración de iones hidrógeno (pH). Por regla general, las soluciones alcalinas son más corrosivas que las neutras o ácidas, principalmente en el caso del acero y del hierro

Para medición se utiliza un pH-metro, y se coloca directamente en el extracto para tomar la lectura. Previamente este instrumento debe estar calibrado para evitar errores en la medición de alcalinidad o acidez.

Estos datos se tomaron en diferentes puntos a lo largo del tramo donde irá enterrada la tubería para determinar la alcalinidad o acidez del suelo en los que se denomina puntos fríos y puntos calientes en donde el ambiente geológico se torna severamente corrosivo o moderadamente corrosivo (tablas 17-18).

**TABLA 16: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PH METRO
THERMO ELECTRÓN**

Modelo	Thermo electron Corporation
Rango pH	0,00 a 14,00
Resolución	0,01
Desviación EMC Típica	±0,01
Calibración	Manual de 2 puntos por medio de soluciones estándares
Dimensiones	0,24 x 0,18 x 0,74 m
Peso	1,0 kg

**TABLA 17: DATOS DE TEMPERATURA PORCENTAJE DE SODIO Y
PH EN LA MUESTRA 1**

Temperatura	Porcentaje de sodio	pH
25°c	>15%	8.7

**TABLA 18: DATOS DE TEMPERATURA PORCENTAJE DE SODIO Y
PH EN LA MUESTRA 2**

temperatura	Porcentaje de sodio	pH
25°c	>15%	8.6

3.3 Localización de líneas extranjeras

Mediante una inspección del terreno y el área por donde atravesará el ducto de gas y con datos visibles de marcaciones y planos propiedad de EP PETROECUADOR, se procedió a la localización exacta del poliducto La Libertad Manta que atraviesa la zona del proyecto.

Para esta localización y orientación geográfica se utilizó un equipo de última generación, un localizador de líneas metálicas energizadas de marca RIDGIG el cual funciona con radio frecuencias regulables y dos antenas localizadoras desplegadas que determinan la ubicación de la línea en una pantalla lcd (liquid crystal display) y un mapa de orientación geográfica determinando la ubicación exacta donde está enterrada la tubería y la profundidad a la que se encuentra.

TABLA 19: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL LOCALIZADOR DE LINEAS RIGDIG

Marca	RIGDIG
Modelo	NaviTrack II
Rango de profundidad	0-10 metros
sonda	512 Hz.
Rastreo activo de la línea	128 Hz, 1 kHz, 8 kHz, 33 kHz, 262 kHz.
Rastreo pasivo AC de la línea	60 Hz, 50 Hz.
Peso	2.3 kg



FIGURA 3.8: EQUIPO SATELITAL RIGDIG NAVITRACK PARA DETECCION DE LINEAS ENTERRADAS

Procedimiento:

Se procedió a encender el localizador de líneas energizadas por el sector en el cual se encuentran los marcadores metálicos por donde atraviesa el poliducto La libertad-Manta y por medio de una lectura visualizada en el mapa digital del instrumento se procedió a caminar con el objetivo de centrar la línea tendida que detectó el localizador con el mapa geográfico del mismo, una vez centrada la línea detectada por medio de un GPS se tomaron las coordenadas geográficas y la profundidad a la que se encuentra enterrado el poliducto.



FIGURA 3.9: LOCALIZACION DE LINEAS EXTRANGERAS EN SECTOR DE MONTEVERDE

3.4 Criterios de Protección catódica por corrientes impresas

En el diseño de la protección catódica para el ducto de glp se contemplan dos criterios que serán analizados detalladamente para escoger el que mejor se apegue a las condiciones necesarias del tramo de ducto tomando en cuenta el poliducto ya existen que atraviesa la zona de interés.

3.4.1 Criterio I del diseño de protección catódica por corrientes impresas

Requerimientos específicos para el diseño

Para el Diseño de Protección Catódica por corriente impresa, es primordial conocer la agresividad del suelo. Y poseer las facilidades de una fuente de energía externa que permita el funcionamiento de este sistema.

La composición química y propiedades eléctricas de los ánodos y del "backfill" a utilizar se tomaron del catálogo de MCEMSA Inc. el cual se encuentra

(Apendice B).

3.4.1.1 Procedimiento de cálculo

El procedimiento de cálculo es una secuencia ordenada ya que los resultados de las ecuaciones aplicadas son consecuencia de los anteriores. Las ecuaciones utilizadas se encuentran en el manual de Peabody, 2001 y Marquéz, 2004.

Cálculo del área total (A)

Para conocer la cantidad de ánodos a utilizar en el sistema debemos conocer el área de la infraestructura a proteger mediante la siguiente formula basada en el libro de Peabody 2001

$$A = \pi * L * D$$

Donde:

A: área total de la estructura a proteger (m²).

L: longitud de la estructura a proteger (m).

D: diámetro de la estructura a proteger (m).

Cálculos:

$$\text{Área} = (3.1416) * (0.3048) * (470.931)$$

$$\text{Área} = 450.94 \text{ m}^2$$

TABLA 20: DATOS DEL DUCTO DE GLP DESDE FLOPEC HASTA MONTEVERDE

Longitud total	470.931 metros
Diámetro	12 pulgadas	0.3048 metros
Espesor	0.281 pulgadas	0.0071374 metros

3.4.1.1.1 Cálculo del área a proteger (Ap)

El área a proteger depende del tipo de estructura y del porcentaje de protección que se requiera, o el porcentaje de la estructura que está en contacto con el electrolito (Bedon, 2005).

$$Ap = A * f$$

Ap: área a proteger (m2).

A: área total de la estructura a proteger (m2).

f: Porcentaje de protección.

El porcentaje de protección es un criterio de diseño al que se adjudicó un valor del 20 % (Marquéz, 2004) ya que la tubería debe ser previamente pintada y revestida con una cinta aislante plástica, razón por lo que se considera que el 80 % del material está protegido.

Pero por ser un suelo altamente corrosivo se asumirá un porcentaje del 40% y se considerara un 60% de material protegido.

Calculo de Ap:

$$Ap = (450.94) * (0.40)$$

$$Ap = 180.37 \text{ m}^2$$

TABLA 21: CALIDAD Y EFICIENCIA EN LOS RECUBRIMIENTOS

Estructura	Calidad del revestimiento	Eficiencia	
		Inicial	Final
Tubos Enterradas	Excelente	95 %	90 %
	Bueno	90 %	80 %
	Regular	80 %	50 %
	Malo	50 %	0 %

*Marqu ez, 2004

Densidades de corriente (Id)

Es la corriente por unidad de área necesaria para proteger la estructura, se la calcula en funci3n de la resistividad del suelo (ρ) o del electrolito refiriéndose a la estructura sin revestimiento.

El valor de la densidad de corriente se la puede obtener de referencias bibliográficas; este es el parámetro más importante en el diseño de protecci3n cat3dica.

Para el cálculo de la densidad de corriente requerida se usa la siguiente ecuaci3n (Marqu ez, 2004):

$$I_d = 73,73 - 13,35 * \log (\rho)$$

Donde:

ρ : Resistividad del suelo (Ω .cm)

Id: Densidad de Corriente (mA/m²)

Cálculo Id:

$$Id = 73,73 - 13,35 * \log(290,36)$$

$I_d = 40.85 \text{ (mA/m}^2\text{)}$

3.4.1.1.2 Intensidad de corriente requerida (I requerida)

Para estimar la corriente necesaria para proteger determinada estructura metálica, se ha determinado la siguiente ecuación (Bedón, 2005):

$$I_{requerido} = A_p \cdot I_d$$

Donde:

I requerido: Intensidad de corriente requerida (A).

I_d : Densidad de corriente requerida (mA/m²).

A_p : Área a proteger (m²).

Calculo de I requerida:

$$I_{req} = 180.37 \cdot 40.85$$

$$I_{req} = 7368.11$$

$$I_{req} = 7.3681 \text{ A}$$

Intensidad de corriente factor de seguridad (I seguridad)

Se debe considerar que a la intensidad de corriente se debe agregar un porcentaje aproximado del 10 % por razones de seguridad, pero en este caso asumiremos un valor del 20% con el fin de optimizar el rango de protección debido a factores interferentes como son corrientes vagabundas y el medio electrolito agresivo, la elección del porcentaje del factor de seguridad depende de la persona que esté realizando el diseño.

Cálculo factor de seguridad

$$I_{\text{seguridad}} = I_{\text{req}} * 1.20$$

$$I_{\text{seguridad}} = 7.3681 * 1.20$$

$$I_{\text{seguridad}} = 8.8417 \text{ A}$$

Cálculo de la masa anódica requerida

Se puede calcular la masa anódica o peso del material mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{I_{\text{seguridad}} \times C_A \times V_d}{F}$$

Donde:

W: Peso total de masa anódica requerida, (kg).

I seguridad: Corriente requerida, (A).

CA: Consumo del ánodo, en (kg / A*año).

Vd: Vida útil de diseño del sistema, (años).

F: Factor de utilización del ánodo.

El factor de utilización F es el 85% (Marquéz, 2004), ya que cuando un ánodo se ha consumido en ese porcentaje, debe sustituirse porque el material restante es insuficiente para mantener un porcentaje razonable de la intensidad de corriente que inicialmente era capaz de suministrar.

El tipo de ánodo seleccionado es el titanio platinado por ser eficientes en suelos con bajas resistividades y tener una larga duración de vida. Las especificaciones técnicas del ánodo utilizado se encuentran en los anexos.

Cálculo masa anódica

$$W= 8.8417*0.2*20/0.85$$

$$W= 41.60 \text{ kg}$$

3.4.1.1.1.2 Tipo y Número de Ánodos Inertes

Es indispensable antes de hacer el cálculo de número de ánodos saber qué tipo de ánodos se va a utilizar en el sistema y que se apegue a las necesidades y requerimientos del mismo por eso se ha seleccionado un tipo de ánodos Ferro silicio: El ánodo de ferro silicio es recomendable en terrenos de media y baja resistividad. Se coloca hincado o tumbado, en el suelo, y normalmente rodeado de un relleno de carbón de coque. A intensidades bajas de corrientes (1 A), su vida es prácticamente ilimitada, y su capacidad máxima de salida de corriente es de unos 12 a 15 A por ánodo. Su consumo oscila, a intensidades de corriente altas, entre 0.1 0.3 kg/A-año.

Sus dimensiones más normales corresponden a 1000 mm de longitud, 35 mm de diámetro, y su peso aproximado es de 15 kg. El ferro silicio es muy frágil en virtud de su estructura cristalina, por lo que se ha de tener un extremo cuidado en su embalaje y transporte.

Número de ánodos

El número de ánodos requeridos es calculado mediante la siguiente ecuación (Bedón, 2005)

$$N=W/P \text{ kg.}$$

Donde

N: es el número total de ánodos a utilizar.

W: Peso total de la masa anódica.

P: Peso del ánodo a utilizar.

Cálculo número de ánodos

$$N=41.60/11.4$$

$$N=3.65$$

Espaciamiento entre ánodos

La siguiente fórmula viene dada para calcular el espaciamiento entre ánodos de una cama anódica según (Bedón, 2005)

$$S=L/N$$

Donde:

L: longitud a estructura a proteger (m)

N: número de ánodos requeridos

Cálculo de espaciamiento

$$S= 60/4$$

$$S=15$$

Intensidad de diseño

La intensidad del diseño se refiere a la cantidad de corriente que se necesita del rectificador para suministrar a la cantidad de ánodos calculados con un factor de seguridad de un 20% según el libro (Peabody 2001) y la ecuación es la siguiente:

$$I \text{ diseño} = N * C_{sa} * 1.2$$

Donde:

N: número de ánodos requeridos

C_{sa}: corriente de salida de los ánodos

Cálculo de intensidad de diseño

$$I_{\text{diseño}} = 4 \cdot 3 \cdot 1.2$$

$$I_{\text{diseño}} = 14.4 \text{ A}$$

3.4.1.1.1.3 Resistencia y Voltaje de diseño

Para este diseño se ha seleccionado un cable tipo TW 6 AWG con una resistencia por kilometro de 0.83 ohms/km.

Resistencia del cable

Para la resistencia del cable utilizamos la siguiente ecuación según (Peabody 2001)

$$R_c = (R_{\text{cable}} \cdot L_{\text{cable}}) / 1000$$

Donde:

R_{cable} : resistencia por kilómetro

L_{cable} : longitud en metros

R_c : resistencia del cable

Cálculo de la resistencia del cable

$$R_c = (0.833 \cdot 60) / 1000$$

$$R_c = 0.050 \text{ ohms}$$

Resistencia del primer ánodo al rectificador R_{ar}

Para determinar la resistencia que existe entre el primer ánodo al rectificador se

Utiliza la siguiente ecuación (Peabody, 2001):

$$R_{ar} = R \cdot L$$

Donde:

R : Resistencia * unión de cable

L: longitud de cable

$$R=0.00033$$

Cálculo de Rar:

$$Rar=0.00033*60$$

$$Rar=0.0198 \text{ ohms}$$

Resistencia de ánodos horizontales a tierra Rh

La resistencia del suelo se la calcula con la siguiente ecuación (Peabody, 2001):

$$R_{SUELO} = \frac{0,00521 \rho_{LECHO}}{N \cdot L_A} \left(2,3 \log \left(\frac{8 \cdot L_A}{D_A} \right) - 1 + \frac{2L_A}{S} (2,3 \log (0,656N)) \right)$$

Donde:

ρ_{LECHO} : Resistividad del suelo donde se va a enterrar la cama anódica ($\Omega \cdot \text{cm}$).

N: Número de ánodos.

LA: Longitud del ánodo (ft).

DA: Diámetro del ánodo (ft).

S: Espaciamiento entre ánodos (ft)

Es conveniente que el suelo sea de baja resistividad para que de esta manera sea más fácil la transferencia de iones.

$$R_{suelo} = 0.00521 * 290.36 / 4 * 5 * (2.3 \log(8 * 5 / 0.1246) - 1 + 2(5) / 49.2 * (2.3 \log 0.656(4)))$$

$$R_{suelo} = 0.37 \text{ ohms}$$

Resistencia del diseño

La resistencia total es la suma tanto de la resistencia del suelo en donde se enterrará la cama anódica y la resistencia del cable desde el primer ánodo al rectificador.

$R_{\text{diseño}} = R_{\text{suelo}} + R_{\text{ar}} + R_{\text{c}}$ Cálculo de resistencia de diseño:

$R_{\text{diseño}} = 0.37 + 0.0198 + 0.050$

$R_{\text{diseño}} = 0.44 \text{ ohms}$

Voltaje del diseño

Para el cálculo del voltaje del diseño utilizaremos la siguiente fórmula:

$I_{\text{volt}} = I_{\text{d}} * R_{\text{d}}$

I_{volt} = intensidad de voltaje

I_{d} = intensidad de diseño

R_{d} = resistencia de diseño

Cálculo:

$I_{\text{volt}} = 14.4 * 0.44$

$I_{\text{volt}} = 6.33 \text{ voltios}$

3.4.1.2 Listado de equipos y materiales para el diseño

TABLA 22: LISTADO DE MATERIALES PARA EL DISEÑO DE LA PROTECCION CATODICA POR CORRIENTES IMPRESAS

Ítem	Cantidad	Unidad	Descripción
1	3	u	Ánodos de ferro silicio cromo
2	9	u	Sacos de cocke
3	1	u	rectificador

4	300	m	Cable 1/0 AWG
5	10	u	Resinas epoxicas 3M o similar
6	1	u	Electrodo permanente de Ag/AgCl
7	100	m	Cable 14 AWG, para cajetin
8	1	u	Cajetín de prueba
9	3	u	Caja de conexiones para empalmes
10	2	u	Kit soldadura exotérmica.
11	2	u	Soldadura capwell

Gráfico del diseño:

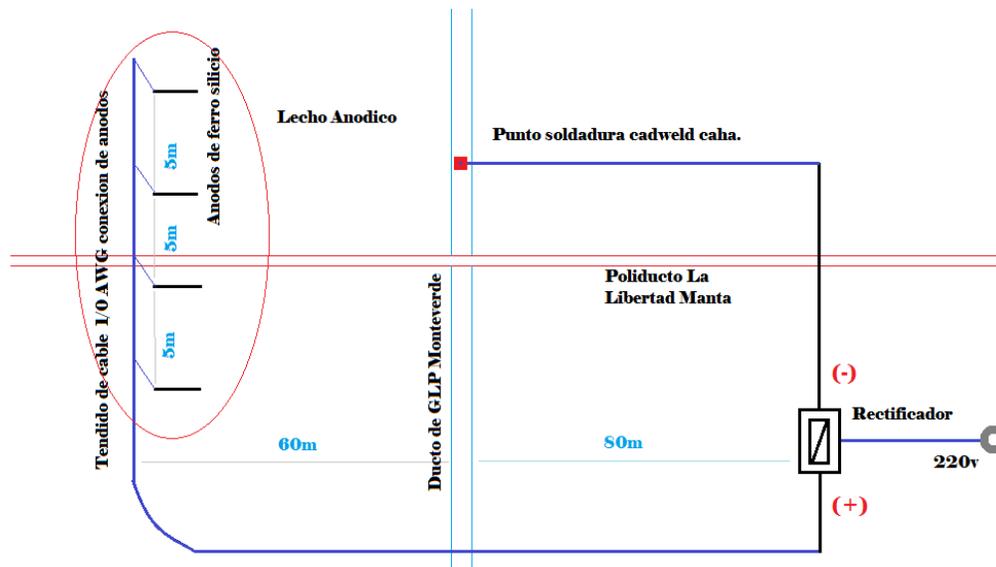


FIGURA 3.10: GRÁFICO DEL DISEÑO CP CORRIENTES IMPRESAS

3.4.2 Criterio II del diseño de Protección catódica por corrientes impresas

Protección al ducto de GLP por Puenteo de líneas

Las pruebas de interferencia estática de corrientes vagabundas causadas por los sistemas de protección catódica son razonablemente acertados en zonas donde encuentran cruce de tuberías o tuberías paralelas como se ha mencionado en el capítulo uno, ya que se encuentran energizadas y cada estructura posee su propio

sistema de protección catódica sea este por corrientes impresas, ánodos de sacrificio o mixtas.

Existen varios factores que influyen en estas interferencias estáticas entre los cuales se puede mencionar:

- La posición incorrecta de las camas anódicas del SPC
- La diferencia de amperaje de las líneas energizadas por sus rectificadores
- El mal recubrimiento de las tuberías en determinadas zonas

Estos y otros factores provocan una interferencia estática entre los sistemas de protección catódica de dos o más tuberías que se encuentran enterradas a poca distancia en (paralelo) o en cruce, desencadenando una deficiencia catódica entre ellas donde podrá quedar desprotegida la tubería más vulnerable ya sea porque se encuentre menos energizada o porque su recubrimiento esté deteriorado cediendo electrones por el medio electrolítico a otra tubería, sacrificándose y haciendo prematuro su desgaste. (Peabody 2001)

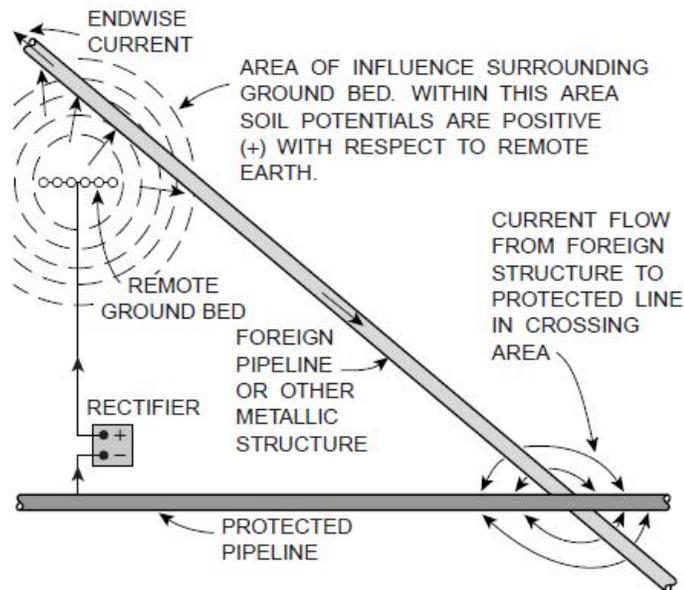


FIGURA 3.11: CRUCE PERPENDICULAR DE TUBERIAS ENERGIZADAS

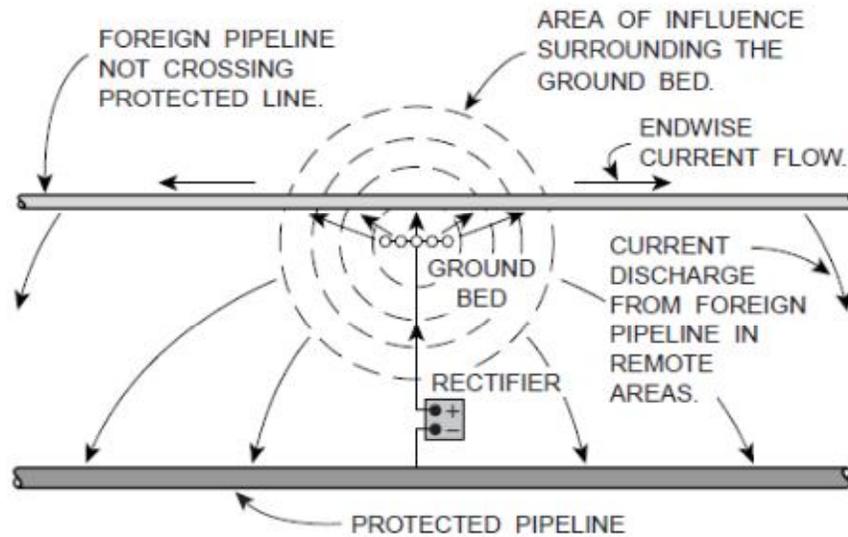


FIGURA 3.12: CRUCE EN PARALELO DE TUBERIAS ENERGIZADAS

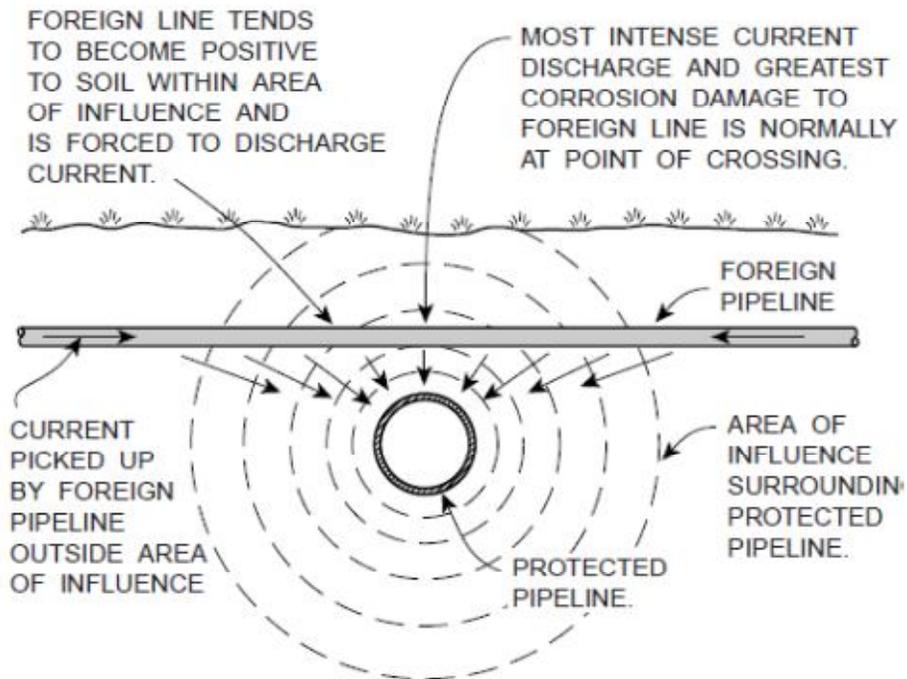


FIGURA 3.13: INTERFERENCIA ELECTROESTÁTICA DE DOS TUBERÍAS ENERGIZADAS

Efecto de tubería extranjera pasando a través de la tierra gradiente de potencial alrededor de tubería protegida.

Como se ha observado en las figuras 3.12 3.13 ya sea en paralelo o en cruce de líneas, es muy común en este tipo de sistemas tener un ataque agravado de corrosión en una de las dos tuberías en determinado punto ya que la tubería más vulnerable sede su descarga eléctrica a la tubería protegida generando un punto de corrosión

En líneas en paralelo las camas anódicas inducen una descarga eléctrica hacia áreas remotas reduciendo el potencial eléctrico de la tubería extranjera aumentando las probabilidades de corrosión en los puntos más críticos.

3.4.2.1 Análisis de factor de interferencia.

En el gasoducto de GLP nos encontramos con este fenómeno ya que por la misma zona atraviesa el poliducto La Libertad- Manta de forma perpendicular en las coordenadas $2^{\circ}03'07.57''$ S $80^{\circ}43'58.08''$ O 5 m sobre el nivel del mar y a una profundidad de 2 metros



FIGURA 3.14: POLIDUCTO LA LIBERTAD- MANTA

La tubería de GLP atravesará esta zona con una profundidad de 1.5 m con respecto al ducto de GLP creando una interferencia electroestática como se observa en la (figura 3.13).

Al encontrarse en un cruce perpendicular son altas las probabilidades que una de las dos tuberías sufra un ataque agravado de corrosión por polarización descompensada ya que el poliducto La Libertad-Manta posee su propio sistema de protección catódica y el ducto de GLP por deberá poseer el suyo quedando las dos líneas energizadas.

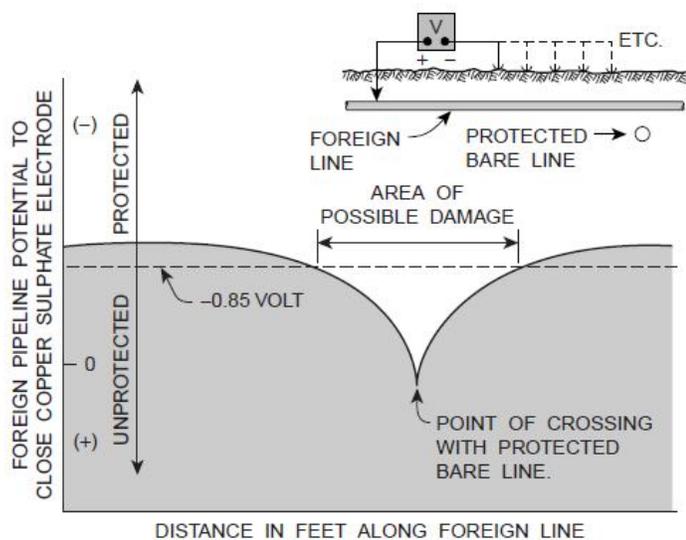


FIGURA 3.15: ÁREA DE DEMANDA EN LA CAIDA DE POTENCIAL EN EL CRUCE DE DOS TUBERÍAS.

Como se puede observar en la figura el potencial mínimo de protección de una tubería de acero es de -0.85 v (criterios de protección cap 1) los valores inferiores indicarán que la línea está desprotegida, en el punto de cruce del poliducto y el gasoducto se observara un área de demanda de una de las dos líneas donde el potencial eléctrico decaerá a valores inferiores de -0.85 v quedando ésta desprotegida.

3.4.2.2 Uniones metálicas

La unión metálica o puente es una alternativa en los diseños de protección catódica para evitar la interferencia eléctrica en los cruces de tubería que consiste en la soldadura de dos conductores hacia las tuberías por medio de una soldadura cadweld colocando una caja de conexión (junction box), en este método actuará solamente el potencial de protección de una tubería donde según (peabody 2001) el potencial ideal basados en experiencias es de -0.91 v para la tubería energizada y -0.85 v para la tubería extranjera es manipulando el único rectificador que actua en este circuito por ende se hace indispensable también instalar dos cajas de toma de potencia con un electrodo de referencia a tierra.

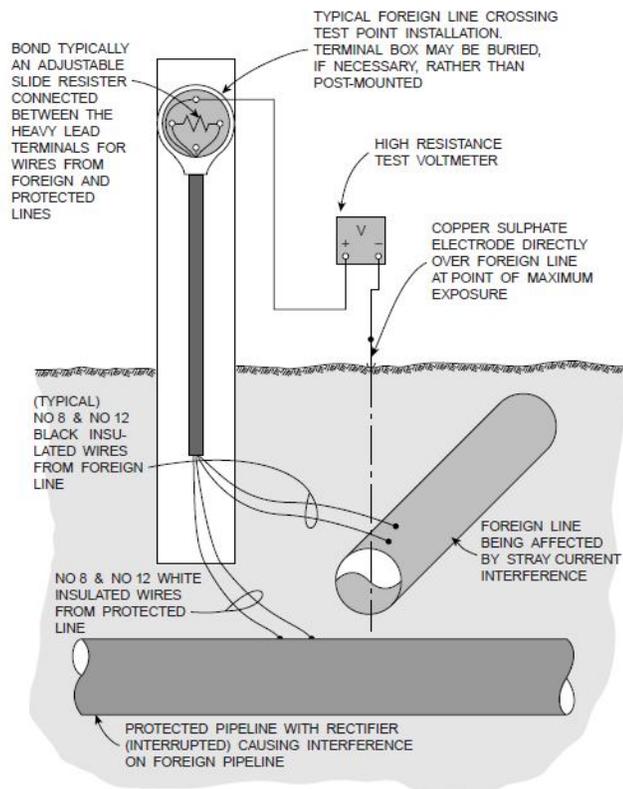


FIGURA 3.16: PUENTE O UNIÓN METÁLICA

3.4.2.3 Datos técnicos del poliducto La Libertad Manta

Petrocomercial cuenta con una red de poliductos ubicados estratégicamente e interconectados entre sí, que atraviesan las tres regiones del Ecuador Continental. Transportan gasolinas, diesel y gas licuado de petróleo, GLP, desde las Refinerías de Petroindustrial y los terminales marítimos, hasta los centros de despacho y de ahí a las comercializadoras. Son aproximadamente 1300 kilómetros de poliducto, cuya capacidad de bombeo, permite transportar alrededor de 6 millones de galones diarios de combustible, a través de 9 diferentes líneas, que interconectadas entre sí, abastecen a todos los sectores sociales y productivos del país.

TABLA 23: DATOS TÉCNICOS DEL POLIDUCTO LA LIBERTAD MANTA

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS POLIDUCTOS DE PETROCOMERCIAL

POLIDUCTO	LONGITUD (KM)	DIAMETRO DE TUBERIA (PULG)	CAPACIDAD BOMBEO (BLS/DIA)	VOLUMEN EMPAQ. LINEA (BLS)	CAUDAL MAXIMO (BLS/HORA)
ESMERALDAS - STO DOMINGO	163,9	16	60.000	121.800	2.500
STO DOMINGO - QUITO	89	12	48.000	42.800	2.000
STO DOMINGO - PASCUALES	276	10	38.400	91.800	1.600
QUITO - AMBATO	111	6	12.000	13.572	500
SHUSHUFINDI - QUITO	305	6-4	10.800	37.000	450
LIBERTAD - PASCUALES	128	10	21.600	42.300	900
LIBERTAD - MANTA	170	6	8.400	21.500	350
TRES BOCAS - PASCUALES	20	12	108.000	10.000	4.500
TRES BOCAS - FUEL OIL	5,6	14	48.000	2.700	2.000
TRES BOCAS - SALITRAL	5,5	8-6	36.000	900	1.500

FUENTE: EPPETROECUADOR

Como se puede apreciar la longitud del poliducto La libertad-Manta tiene una extensión longitudinal de 170 km el diámetro de la tubería es de 6 pulg.

Se conoce mediante inspección técnica y por los datos facilitados por Petrocomercial que el poliducto contiene su propia protección catódica por corrientes impresas a lo largo de su recorrido.

El área de interés para el estudio contempla los rectificadores más cercanos a Monteverde donde se encuentra el cruce entre el poliducto y el gasoducto.

TABLA 24: DATOS DE POTENCIAL Y DISTANCIA DE RECTIFICADORES EXTERNOS AL DUCTO DE GLP

Rectificadores	Ubicación	Marca	Potencial (mV) 12/12/2011	Punto kilométrico	Longitud en km tomando de referencia el Ducto de GLP.
1	Ballenita		-1760	03+000	23
2	Palmar		-1880	33+650	6

3.4.2.4 Cálculos y Diseño de puente

Una vez obtenida la información del poliducto se puede hacer el análisis para realizar el puente desde un tramo del poliducto hacia el ducto de GLP como se ha mencionado anteriormente el puenteo es una opción para evitar las interferencias eléctricas por una descompensación de polarización.

Se cuenta con dos rectificadores a lo largo del poliducto La libertad Manta que se encuentran energizando la línea.

Según la información obtenida por Petroecuador y la agencia de regulación de hidrocarburos (ARCH), un rectificador se encuentra en el sector de ballenita y tiene un potencial de -1760 mV que protege todo el poliducto hasta el sector de

Palmar donde se encuentra otro rectificador que fue instalado recientemente en el año 2011 con un lecho anódico, este rectificador tiene una lectura de -1880 mV entre estos dos puntos toda la línea del poliducto se encuentra protegida con potenciales que oscilan entre -1800 hasta -1190 mV.

Se tomaron los potenciales del poliducto La Libertad Manta con el personal de la ARCH, Petroecuador y el cuerpo de ingenieros del ejército a lo largo de los puntos de interés, y para esta medición se utilizó un multímetro marca Fluke 787 y un electrodo de referencia de Cu/CuSO₄ obteniendo los siguientes resultados:

**TABLA 25: POTENCIALES DEL POLIDUCTO LA LIBERTAD MANTA
A DIFERENTES PUNTOS KILOMÉTRICOS**

Punto kilométrico	Coordenadas UTM	Potencial mV	Condición climática	Referencia geográfica
03+000	1	-1760	Seca	Rectificador Ballenita
03+750	2	-1765	Seca	Cerro Antenas
06+250	3	-1560	Seca	Capaes
07+980	4	-1450	Seca	Capaes
12+050	5	-1340	Seca	Pta. Blanca
14+050	6	-1280	Seca	Pta. Blanca
16+000	7	-1280	Seca	Estac. Canada Grande
17+850	8	-1280	Seca	Canada Grande
20+000	9	-1270	Seca	Canada Grande
22+000	10	-1270	Seca	Ecuasal
24+000	11	-1250	Seca	Ecuasal
26+000	12	-1260	Seca	Ecuasal

28+000	13	-1340	Seca	Ecuasal
30+200	14	-1190	Seca	Jambeli
31+750	15	-1450	Seca	Fatima
33+650	16	-1880	Seca	Rectificador Palmar

Una vez analizados los puntos en ambos rectificadores se puede observar que existe una tendencia de decadencia del potencial a medida que se aleja del punto de impresión de corriente, siguiendo el siguiente comportamiento de curva.

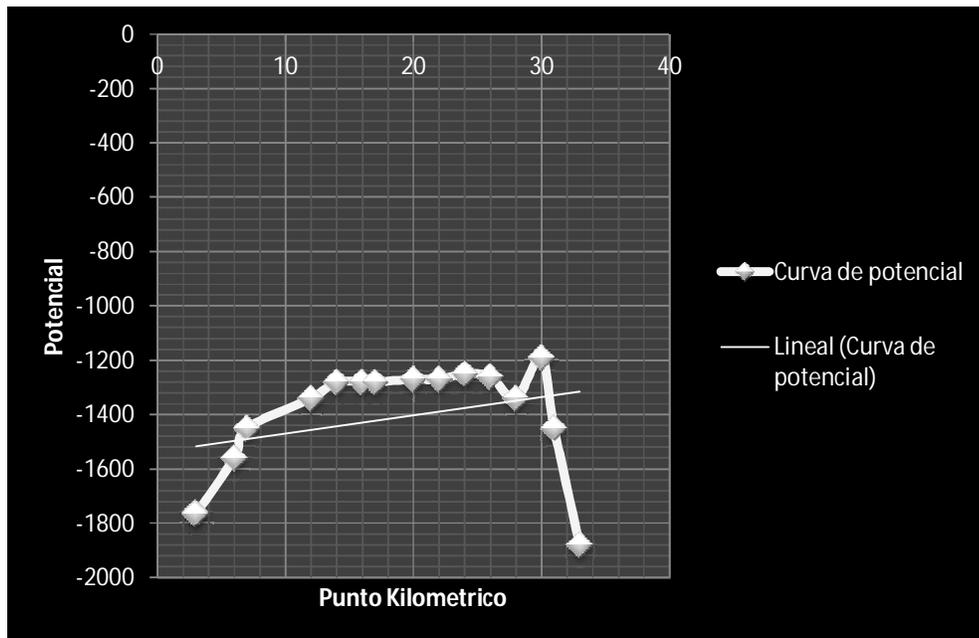


FIGURA 3.17: CAIDA DE POTENCIAL VERSUS DISTANCIA

Analizando los potenciales a lo largo de los puntos de interés se puede observar que los puntos más bajos no sobrepasan el potencial eléctrico de $-0.85v$ para asegurar la protección de tuberías de acero según Peabody 2001. En el siguiente grafico se puntualizan los puntos extremos de los rectificadores de Ballenita y Palmar así como el punto de caída máximo.

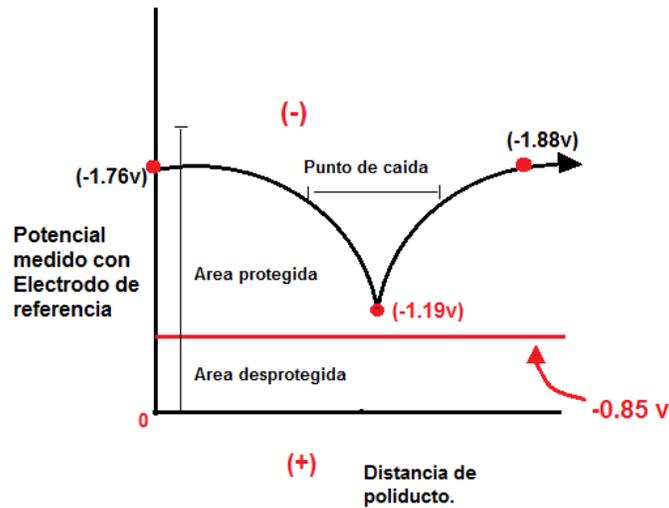


FIGURA 3.18: CAIDA DE POTENCIAL VERSUS DISTANCIA EN EL POLIDUCTO LA LIBERTAD- MANTA

TABLA 26: DISTANCIAS DE RECTIFICADORES DEL POLIDUCTO LA LIBERTAD MANTA CON RESPECTO AL DUCTO MONTEVERDE

Puntos de referencia	Distancia km
Ballenita- Monteverde	23 km
Monteverde-Palmar	6 Km
Ballenita-Palmar	29 Km

En la tabla 24 se observa las distancias en kilómetros de los rectificadores ubicados en Ballenita y Palmar que están más cercanos a Monteverde donde se colocará el ducto de GLP.

Características rectificador Ballenita:



FIGURA 3.19: RECTIFICADOR BALLENTA

TABLA 27: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL RECTIFICADOR BALLENTA

TRANSRECTIFICADOR DE BALLENTA	
ID. EQUIPO:	001-REC-240
EQUIPO:	TRANSRECTIFIER
MARCA:	RIO TRANSRECTIFIER
MODELO:	ACB
SERIE:	820379
VOLTAJE:	220 V / 480 V
AMPERAJE:	8.6 A / 4.3 A
VOLTAJE D.C:	45
AMPERAJE D.C:	30

TEMPERATURA:	45 ° C
POTENCIA:	1
UBICACIÓN:	BALLENITA (PK-02+250)
PROCEDENCIA:	TEXAS
INFORMACION:	<i>Rio Engineering Co. Division Cathodic Protection Service Inc.</i>

Características rectificador Palmar:



FIGURA 3.20: RECTIFICADOR PALMAR

TABLA 28: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL RECTIFICADOR PALMAR.

TRANSRECTIFICADOR DE PALMAR	
ID. EQUIPO:	004-REC-240
EQUIPO:	TRANSRECTIFIER

MARCA:	WILSON WALTON
MODELO:	WIGE 21
SERIE:	456387
VOLTAJE:	220 V / 480 V
AMPERAJE:	8.6 A / 4.3 A
VOLTAJE D.C:	55
AMPERAJE D.C:	40
TEMPERATURA:	45 ° C
POTENCIA:	1
UBICACIÓN:	PALMAR (PK-33+750)
PROCEDENCIA:	TEXAS
INFORMACION:	GULDADER ELECTROLISIS, S.A www.wilsonwalton.es

Sabiendo que para cada punto (Ballenita-Palmar) se hizo un estudio y diseño de protección catódica con sus propios rectificadores a lo largo del poliducto se puede aprovechar el potencial para proteger de igual forma al ducto de GLP tomando en cuenta los criterios de protección catódica y evitando que el potencial en dicho tramo decaiga a un valor menor a -0.85 v según NACE Standard RP-01-69 de los criterios de protección catódica para tuberías de acero y hierro, como se ha observado en la figura 3.18 en los diferentes puntos de toma de potencial

ninguno cae a un valor menor a -0.85v , es conveniente realizar un cálculo másico en relación a los potenciales para conocer si el puenteo del ducto de GLP provocará una caída de potencial, inferiores al antes mencionado exponiéndolo a un ataque de corrosión.

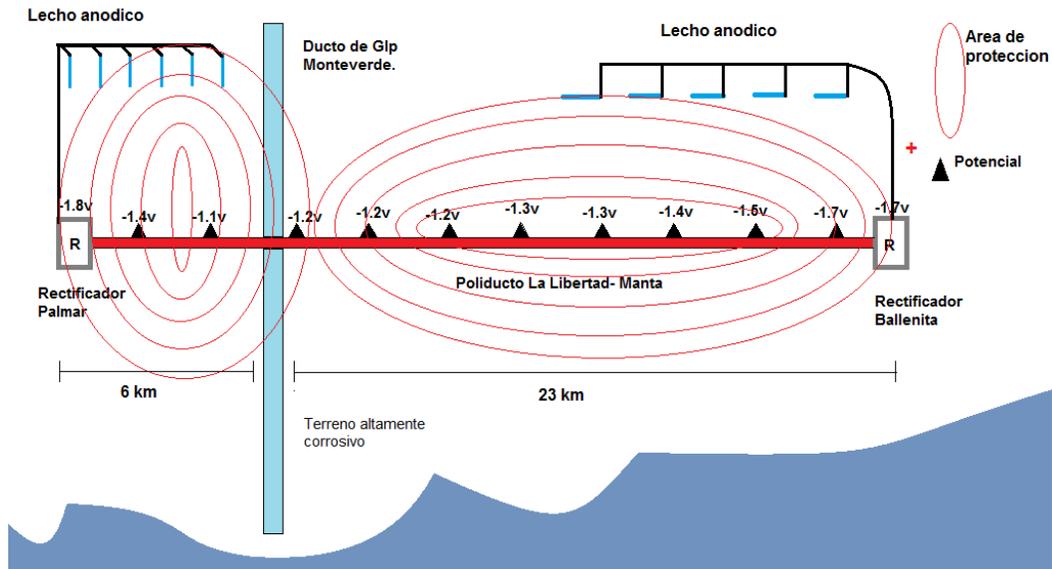


FIGURA 3.21: GRAFICO ÁREA DE PROTECCIÓN DE LOS RECTIFICADORES EXTREMOS AL DUCTO DE GLP.

Cálculos:

Calculo área de protección Poliducto La Libertad Manta

Para el cálculo de área se utilizarán las mismas fórmulas aplicadas al primer criterio

$$A = \pi * L * D$$

Tramo 1 (Ballenita-Monteverde)

$$A=(3.1416)*(23000)*(0.1524)$$

$$A=11011.93 \text{ m}^2$$

Tramo 2 (Palmar-Monteverde)

$$A=(3.1416)*(6000)*(0.1524)$$

$$A=2872.67 \text{ m}^2$$

Tramo 3 (Ducto de GIp)

$$A= 450.94 \text{ m}^2$$

Una vez realizado el cálculo del área de protección se procede a calcular la intensidad de corriente que circula desde el punto Ballenita hasta el punto de cruce de tuberías, sabiendo que a medida que se aleja de la fuente de alimentación la intensidad irá disminuyendo por la resistividad que ofrece el acero que es aproximadamente $20 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ a 20-25°C (peabody 2002).

$$I=V/R$$

I intensidad de corriente

V voltaje

R resistividad del material

Según la tabla 25, el voltaje de salida del rectificador ballenita es de -1.76v, podemos reemplazar y conocer la intensidad con la que comienza la protección del poliducto a un 1 metro del transrectificador:

$$I= -1.76 / (20 \times 10^{-8})$$

$$I= -8800 \text{ Amp.}$$

La intensidad de corriente a los 23 kilómetros donde se localiza el cruce de líneas y se realizará el puenteo tomando en cuenta que según la toma de potenciales de la tabla 25 nos da como dato un potencial de -1.26 v en el km 23.

Resistividad $20 \times 10^{-8} \Omega/ \text{m}$

$$\text{En } 23000\text{m } (20 \times 10^{-8} \Omega/ \text{m}) \times (23000\text{m}) = 0.0046 \Omega.$$

$$I= -1.26 / (0.0046)$$

$$I = -273.91 \text{ Amp.}$$

Para garantizar la protección del ducto de GLP debemos tener un potencial no menor a -0.85 v según el libro de Peabody 2001, se procederá a calcular la intensidad de corriente necesaria para no sobrepasar el límite descrito anteriormente con una resistividad al punto de puenteo que es a 23000 metros desde el rectificador de Ballenita.

Intensidad mínima de protección al ducto:

$$I = -0.85/0.0046$$

$$I = -184.78 \text{ Amp}$$

Intensidad de corriente aproximada si se realiza el puenteo de líneas desde Ballenita a Monteverde

Al realizar estos cálculos predictivos se sumará 470.931 metros de ducto a los 23000 metros de polducto que se encuentran protegidos y el voltaje de referencia será el punto donde se realizara el puenteo:

$$\text{Longitud} = 23470.931 \text{ m}$$

$$\text{Resistencia} = 20 \times 10^{-8} \Omega/\text{m} \times (23470.931 \text{ m})$$

$$\text{Resistencia} = 0.004694 \Omega$$

$$I = V/R$$

$$I = -1.26/0.004694$$

$$I = 268.41 \text{ Amp}$$

Desde el rectificador de Palmar también se realizará los cálculos de intensidades para determinar la intensidad mínima en el cruce de líneas.

Sabiendo que desde el rectificador de palmar al ducto de Glp de Monteverde existen 6 km de distancia la tensión de salida del rectificador es de -1.91 v y que la resistividad de la tubería de acero es de $20 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ a $20-25^\circ\text{c}$.

Intensidad de corriente de salida del rectificador Palmar:

Se realizara el cálculo de resistividad del material a 1 m de distancia del rectificador tal como se calculo anteriormente con el rectificador ballenita.

$$I = -1.91 / (20 \times 10^{-8})$$

$$I = -9550 \text{ Amp.}$$

Ahora se procederá a realizar el cálculo de caída de intensidad desde el rectificador Palmar hasta el ducto de Glp Monteverde tomando el potencial de referencia de -1.26v que es el punto de cruce del ducto:

$$R = (20 \times 10^{-8} \Omega / \text{m}) \times (6000\text{m})$$

$$R = 0.0012 \Omega$$

$$I = -1.26 / 0.0012$$

$$I = -1050 \text{ Amp}$$

Así mismo se procede a calcular la intensidad de corriente mínima necesaria para proteger el ducto de de GLP tomando en cuenta que el criterio del libro de Peabody 2001 según las normas NACE establece un voltaje mínimo de -0.85 v.

Intensidad mínima de protección al ducto:

$$I = 0.85 / 0.0012$$

$$I = 708.33 \text{ Amp.}$$

Potencial de voltaje aproximado si se realiza el puenteo de líneas desde Palmar a Monteverde

Tal como se hizo anteriormente se sumará 470.931 metros de ducto a los 6000 metros de poliducto que se encuentran protegidos:

Longitud= 6470.931m

Resistencia= $20 \times 10^{-8} \Omega/m \times (6470.931m)$

Resistencia= 0.0013 Ω

$I=V/R$

$I= -1.26/0.0013$

$I= -969.23 \text{ Amp.}$

TABLA 29: COMPARACIÓN DE CÁLCULO DE DISEÑO POR PUENTE DE LÍNEAS

Sector	Intensidades desde rectificadores	Intensidades en el punto de cruce	Valores mínimos de protección al ducto (condición)	Intensidad de diseño
Ballenita Monteverde	-8800 Amp	-273.91 Amp	-184.78 Amp	-268.41 Amp
Palmar Monteverde	-9550 Amp	-1050 Amp	-708.33 Amp	-969.23 Amp

TABLA 30: CAIDA DE POTENCIAL POR VARIACIÓN DE DISTANCIA DEL POLIDUCTO LA LIBERTAD- MANTA

Puntos Km	Distancia entre puntos	diferencia de potencial mV	Volt
3,75	2,50	205	0,205
6,25	1,73	110	0,11
7,98	4,07	110	0,11
12,05	2,00	60	0,06
14,05	1,95	0	0

16,00	1,85	0	0
17,85	2,15	10	0,01
20,00	2,00	0	0
22,00	2,00	20	0,02
24,00	2,00	-10	-0,01
26,00	2,00	-80	-0,08
28,00	''''''''	''''''''	''''''''

Grafico de curva de variación de potenciales.

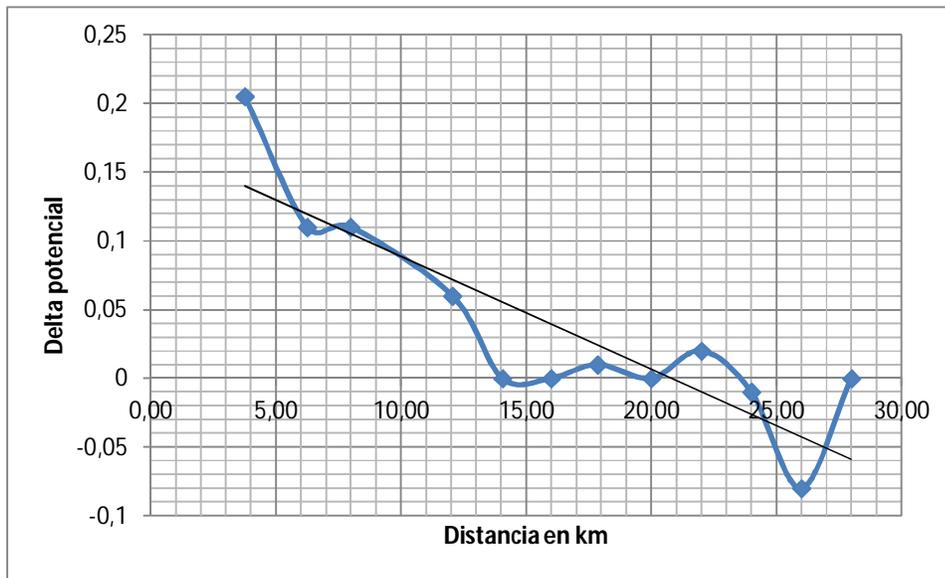


FIGURA 3.22: CURVA DE VARIACION DE POTENCIALES ENTRE PUNTOS KILOMETRICOS

Grafico del diseño de intensidades de corriente:

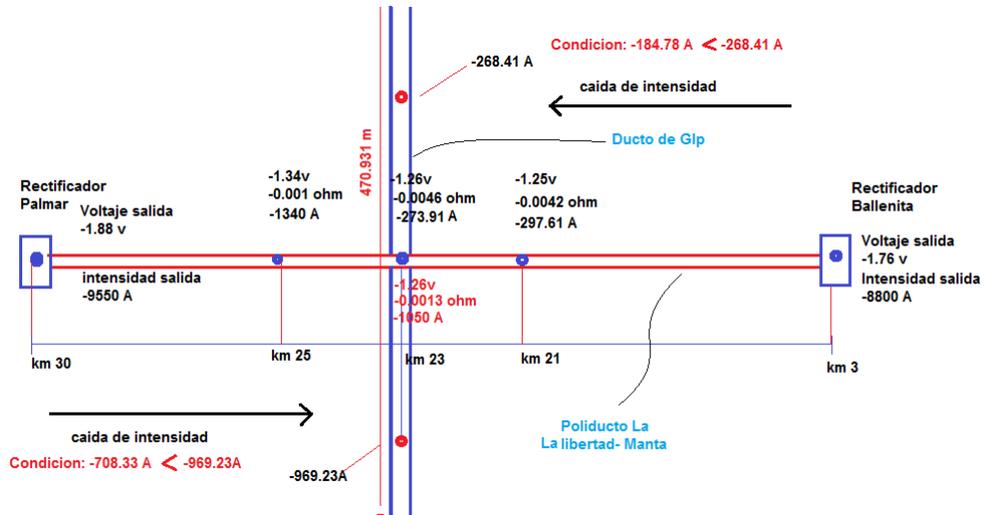


FIGURA 3.23: INTENSIDADES DE CORRIENTE DEL POLIDUCTO Y DUCTO DE GLP

3.4.2.5 Listado de equipos y materiales para diseño de puente:

TABLA 31: LISTADO DE MATERIALES PARA EL DISEÑO DE LA PROTECCION CATODICA POR PUENTE DE LÍNEAS.

Ítem	Cantidad	Unidad	Descripción
1	2	u	Cajetines de prueba
2	1	u	Caja de conexiones
3	200	m	Cable 12 AWG
4	2	u	Resinas epoxicas 3M o similar
5	2	u	Electrodo permanente de Ag/AgCl
6	3	u	Caja de conexiones para empalmes
7	4	u	Soldadura exotermica cadweld

Grafico de diseño de puenteo de líneas

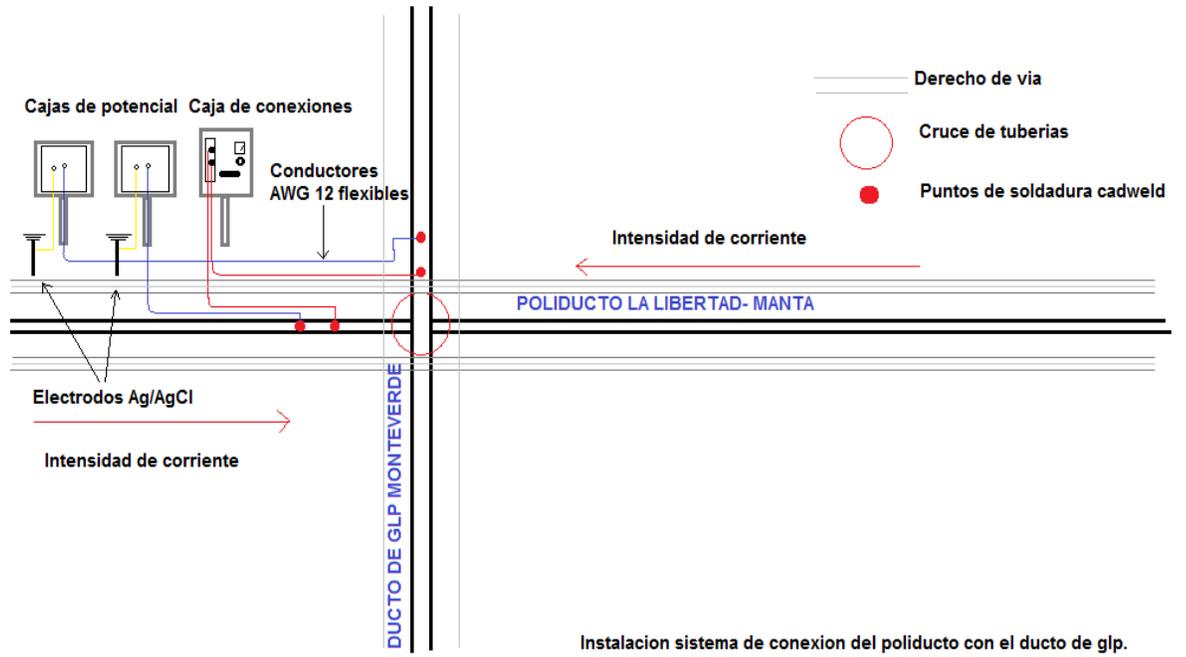


FIGURA 3.24: SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR PUENTELO DEL DUCTO DE GLP Y EL POLIDUCTO LA LIBERTAD- MANTA

CAPITULO 4

4 Análisis técnico económico para la implementación

4.1 Análisis Técnico

El proyecto comprende la construcción de un terminal marítimo, un terminal de almacenamiento, un sistema de despacho en Monteverde el gasoducto desde Monteverde hasta el sector el Chorrillo, parroquia Pascuales km 21 vía a Daule, provincia del Guayas.

El terminal marítimo tiene una capacidad de atracado para buques de alto calado de 75000 toneladas, el almacenamiento terrestre criogénico de 70000 toneladas y un almacenamiento en esferas de 13000 toneladas que operan en el Chorrillo.

La capacidad del ducto alcanzará las 4400 millones de toneladas diarias su extensión total es de 127 km, mide 12 pulgadas y cubre las distancias Monteverde Pascuales

En Pascuales se construirá una estación de almacenamiento y distribución de GLP una planta envasadora de cilindros con una capacidad de 18 toneladas métricas por hora, que significa un envasado equivalente a 1200 cilindros de 15 kilos y funcionarán islas de carga para el despacho a las diferentes comercializadoras.

FLOPEC construye y opera las obras correspondientes al terminal marítimo y al terminal de almacenamiento en Monteverde. Recibirá en proporción el gas: 70 % propano y 30% butano en tanques refrigerados para entregar a Petrocomercial para su posterior envasado y comercialización.

El terminal de almacenamiento en tierra en Monteverde se conectara con el terminal de despacho en Pascuales a través del ducto de GLP cuya construcción está a cargo la compañía Shi Asia adjudicado por Petroecuador con un costo total aproximado de \$124.3 millones de dólares. La implementación total de esta gigantesca obra permitirá ahorrarle al país aproximadamente \$700 millones de dólares en los primeros 20 años y esta cantidad se irá duplicando con el pasar del tiempo, actualmente el país cuenta con una capacidad de almacenamiento de 1.4 días lo que significa que puede quedara desabastecido en cualquier momento y con este proyecto se cuenta con una capacidad de almacenamiento de hasta 30 días.

Una terminal de almacenamiento de glp a condiciones criogénicas representa un proyecto de operación delicado que debe cumplir con todas las normas de seguridad y un sistema contraincendios que abastezca un control total en caso de cualquier emergencia por lo que se hace indispensable realizar todos los controles necesarios y mantenimientos cuando sea necesario ya que se encuentra en una zona altamente agresiva. Es por eso que el sistema de protección catodica debe cumplir con las exigencias para evitar un desgaste de tubería prematuro que pueda ocasionar riesgos de incendio y explosión, desabastecimiento de producto y paro de planta, contaminación del producto y una consecuente contaminación ambiental.

Una vez realizado los análisis de los sistemas de protección catódica para el Ducto de glp se debe considerar un estudio económico de costos unitarios y mano de obra para su implementación así como la disponibilidad de algún material si este fuese el caso

La compañía Shi Asia Monteverde encargada de la instalación del ducto no dispone de material y equipos para la implementación del sistema de protección catódica por lo que será necesaria la adquisición de todos los materiales y herramientas a utilizar incluyendo la mano de obra en horas.

Como se observó en el capítulo 3 se realizó el estudio de diseño del sistema de protección catódica utilizando dos criterios completamente distintos basados en el libro Peabody 2001y utilizando fórmulas de cálculo de Marquez 2004, por lo que el análisis técnico económico será extendido a los dos criterios antes mencionados para determinar el más adecuado en una zona altamente corrosiva.

4.2 Presupuesto Referencial del Proyecto

Se ha realizado un presupuesto referencial del proyecto para la implementación de este trabajo. El cual está hecho usando cotizaciones recibidas del mercado actual. En base a un análisis de precios unitarios por cada rubro del presupuesto se obtiene el costo de la instalación total del sistema. En él se incluye los rendimientos y costos de mano de obra por actividad realizada. En las siguientes tablas se muestran el presupuesto referencial y el análisis de costos unitarios por cada rubro.

PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTES IMPRESAS

TABLA 32: COSTO DE MANO DE OBRA POR DÍA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTES IMPRESAS

Descripción	Dólares por día	Cantidad	Total
Supervisor de obra	\$ 35	1	\$ 35
Ayudantes	\$ 25	4	\$ 100
Movilización	\$ 80	1	\$ 80
Hospedaje	\$ 25	5	\$ 125

Alimentación	\$ 15	5	\$ 75
Otros		10%	\$ 18
Costo total			\$ 433

Se debe tomar en cuenta que para cada uno de los criterios de protección catódica analizados en el capítulo dos la cantidad de trabajadores y supervisores será la misma.

TABLA 33: COSTO DE MANO DE OBRA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA EN 7 DÍAS

Trabajos	Días
Excavación	1
Tendido de cama anódica	1
Instalación de cajas de potenciales	2
Instalación de rectificador y caseta	3
Total de días	7
Costo mano de obra diaria	\$ 433
Costo total mano de obra	\$ 3031

TABLA 34: COSTO DE MATERIALES Y EQUIPO PARA LA INSTALACION DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTES IMPRESAS

Descripción	Precio	Cantidad	Total
ánodo de ferro silicio de 15 kg	\$250	3	\$ 750
Sacos de coque	\$85	6	\$ 510
rectificador	\$6500	1	\$ 6500
Cable 1/0 AWG	\$15	200m	\$ 3000

Resinas epoxicas 3M o similar	\$35	5	\$ 175
Electrodo permanente de Ag/AgCl	\$70	2	\$ 140
Cable 14 AWG, para cajetin	\$12	150	\$ 1800
Caja NEMA 4X 700 x 400 x 300	\$300	2	\$ 600
Caja de conexiones para empalmes	\$15	6	\$ 90
Kit soldadura exotérmica.	\$75	2	\$ 150
Tubo rígido conduit ¾" con soportes	\$60	3m	\$ 180
Costo total de materiales			\$ 13895

TABLA 35: COSTOS DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTES IMPRESAS Y MANO DE OBRA

Descripción	Valor
Mano de Obra	\$ 3031
Costos de material	\$ 13895
Costo total	\$16926

Costo de mantenimiento:

El sistema de protección catódica por corrientes impresas fue diseñado con una vida útil de 20 años ya que el desgaste de los ánodos de ferro silicio son

considerablemente bajos y el desgaste másico por año es imperceptible. Por esto se considerará dos inspecciones mensuales por mantenimiento con un total de 240 meses.

TABLA 36: COSTOS DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTES IMPRESAS

Tiempo /años	meses	Costo diario	Costo mensual	Costo total
\$ 20	\$ 240	\$ 433	\$ 433	\$ 103.920

Después de hacer un desglose económico de los costos por instalación mano de obra y mantenimiento se debe analizar el consumo de energía que tiene el sistema según el tipo de ánodos que utiliza.

Tabla consumo de energía

Consumo individual por ánodo día \$0.32

TABLA 37: COSTOS DE CONSUMO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTES IMPRESAS

Tiempo Años	Tiempo Meses	Consumo diario 4 ánodos ferro silicio	Consumo mensual	Consumo total 20 años
20	\$240	\$1.28	\$38.4	\$9216

Después de hacer un análisis total de los gastos por instalación, mantenimiento consumo, se procede a resumir los costos en una tabla general:

**TABLA 38: COSTOS TOTALES DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN
CATÓDICA POR CORRIENTES IMPRESAS**

Descripción	Tiempo	Total
Costo mano de obra diario	1 día	\$ 433
Costo mano de obra instalación del sistema	7 días	\$ 3031
Costo de materiales del sistema de protección catódica	\$ 13895	
Costos de mantenimiento	7200 días	\$ 103920
Costos de consumo de energía.	7200 días	\$ 9216
5% otros gastos		\$ 6503.1
Costo total	\$ 136565.1	

**PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL SISTEMA DE
DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR MEDIO DE PUENTE DE LÍNEAS**

Costo de mano de obra por día.

En el estudio del diseño del puenteo de líneas del sistema de protección catódica se analizaron diferentes parámetros para la aplicación de este método en el cual

son necesarios 3 días para su instalación por lo que se calculará los costos de mano de obra basados en este tiempo:

Costo de mano de obra por día:

TABLA 39: COSTO DE MANO DE OBRA POR DÍA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR PUENTE DE LÍNEAS

Descripción	Dólares por día	Cantidad	Total
Supervisor de obra	\$ 35	1	\$ 35
Ayudantes	\$ 25	4	\$ 100
Movilización	\$ 80	1	\$ 80
Hospedaje	\$ 25	5	\$ 125
Alimentación	\$ 15	5	\$ 75
Otros		10%	\$ 18
Costo total			\$ 433

TABLA 40: COSTO DE MANO DE OBRA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN POR PUENTE DE LÍNEAS EN 4 DÍAS

Trabajos	Días
Excavación	1
Soldadura cadweld y tendido de conductores	1
Instalación de cajas de potenciales con sus terminales	1
Instalación de caja de junta con sus terminales	1
Regulación de rectificadores	1
Total de días	4
Costo mano de obra diaria	\$433
Costo mano de obra total	\$1732

**TABLA 41: COSTO DE MATERIALES Y EQUIPO PARA LA
INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR
PUENTE DE LÍNEAS**

Descripción	Precio	Cantidad	Total
Cajetines de prueba	\$130	2	\$ 260
Caja de conexiones	\$200	1	\$ 200
Cable 12 AWG flexible	\$11	150m	\$ 1650
Cable 10 AWG flexible	\$13	150m	\$ 1950
Resinas epoxicas 3M o similar	\$35	1	\$ 35
Electrodo permanente de Ag/AgCl	\$70	2	\$ 140
Caja de conexiones para empalmes	\$15	2	\$ 30
Soldadura cadweld	\$75	2	\$ 150
Costo Total			\$ 4415

**TABLA 42: COSTOS DE INSTALACION Y MANO DE OBRA DEL
SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR PUENTE DE LÍNEAS**

Descripción	Valor
Mano de Obra	\$ 1732
Costos de material	\$ 4415
Costo total	\$6147

Costo de mantenimiento:

El costo de mantenimiento en el puenteo de líneas para la protección catódica se regirá a los años de vida útil de los lechos anódicos colocados en el sector de Ballenita y Palmar tomando en consideración los más recientes que han sido diseñado para una vida útil de 15 años, el personal de inspección se reducirá a dos personas realizando una inspección una vez por mes de las condiciones del sistema.

TABLA 43: COSTOS DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR PUENTEO DE LÍNEAS

Tiempo /años	meses	Costo diario	Costo mensual	Costo total
15	180	\$ 200	\$ 200	\$ 36000

Consumo de energía.

El sistema de puenteo de líneas para la protección del ducto de GLP no tiene rectificadores porque utiliza la energía de la línea del poliducto que es abastecida por los rectificadores externos de Ballenita y Palmar con una salida de 1.76 v y 1.80 v respectivamente y según los resultados del diseño no es necesario la regulación de amperaje de dichos rectificadores por lo que el consumo sería de bajo a nulo.

Resumen de costos:

TABLA 44: COSTOS TOTALES DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR PUENTE DE LÍNEAS

Descripción	Tiempo	Total
Costo mano de obra diario	1 día	\$ 433
Costo mano de obra instalación del sistema	4 días	\$ 1732
Costo de materiales del sistema de protección catódica	\$ 4415	
Costos de mantenimiento	5400 días	\$ 36000
Costos de consumo de energía.	5400 días	0
5% otros gastos		\$ 2107.35
Costo total	\$ 44254.35	

4.3 Programación de Actividades

En el programa de actividades de este diseño se realizará una estimación de tiempo en el que se instalará el sistema de protección catódica tomando en cuenta que son dos criterios de aplicación por lo que se ha desarrollado dos tablas de actividades cada una con su propio diagrama de Gantt. El programa de actividades

incluye la fecha que se tardará la adquisición de los equipos y materiales para ambos sistemas.

TABLA 45: CRONOGRAMA PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTES IMPRESAS

Tareas	Fecha de inicio	Duración días	Fecha final
Adquisición de equipo y material	15/02/2012	5	20/02/2012
Reconocimiento	16/02/2012	1	17/02/2012
Excavación	17/02/2012	1	18/02/2012
Tendido de la cama anódica	18/02/2012	2	20/02/2012
Instalación de caja de potenciales	19/02/2012	1	20/02/2012
Instalación de rectificador	20/02/2012	1	21/02/2012
Caseta y conexión eléctrica	21/02/2012	1	22/02/2012
Elaboración de informe	22/02/2012	1	23/02/2012

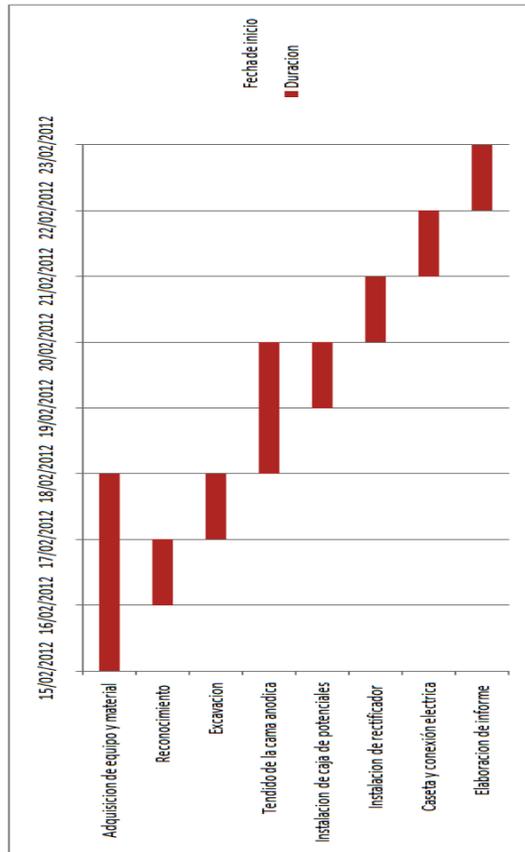
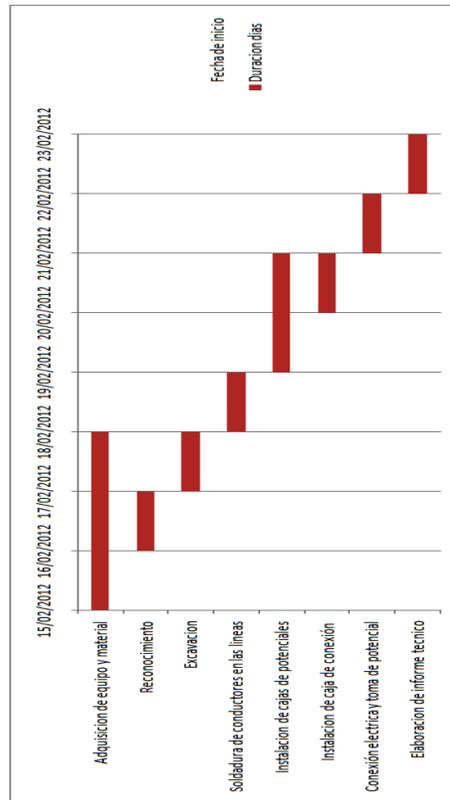


TABLA 46: CRONOGRAMA PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR PUENTE DE LÍNEAS

Tareas	Fecha de inicio	Duración días	Fecha final
Adquisición de equipo y material	10/02/2012	8	18/02/2012
Reconocimiento	16/02/2012	1	17/02/2012
Excavación	17/02/2012	1	18/02/2012
Soldadura de conductores en las líneas	18/02/2012	1	19/02/2012
Instalación de cajas de potenciales	19/02/2012	2	21/02/2012
Instalación de caja de conexión	20/02/2012	1	21/02/2012
Conexión eléctrica y toma de potencial	21/02/2012	1	22/02/2012
Elaboración de informe técnico	22/02/2012	1	23/02/2012



4.4 Especificaciones técnicas y procedimiento

En las especificaciones técnicas se darán a conocer las normas exigencias y procedimientos para la instalación del sistema de protección catódica del ducto de GLP desde el terminal de bombeo Flopec hasta el terminal de almacenamiento Monteverde, tomando en cuenta que existen dos criterios de protección analizados en el capítulo 3 de diseño los cuales se detallarán individualmente.

Especificaciones, Equipos y materiales, sistema de protección catódica por corrientes impresas.

Ánodos: En este sistema se usarán 4 ánodos de Ferro silicio cromo tipo CD de 1000 mm de longitud, 35 mm de diámetro con un peso de 11.4 kg. El ferro silicio

es muy frágil en virtud de su estructura cristalina, por lo que se ha de tener un extremo cuidado en su embalaje y transporte.

Conductores: Se usarán 300 metros de cable 1/0 AWG para realizar el tendido de la cama anódica a 60 metros de distancia del ducto y con un recorrido de 180 metros para la conexión de los ánodos de ferro silicio cromo 20 metros para la conexión del cajetín de prueba y 100 metros de 14 AWG para la conexión del rectificador.

Sacos de cocke: Alrededor del ánodo mencionado se coloca un relleno o “backfill”, de algún material carbonoso previamente seleccionado. Este relleno se utiliza con tres fines: reducir la resistencia eléctrica del suelo; formar un contorno homogéneo del ánodo y, por lo tanto, permitir una salida de corriente uniforme en la superficie disminuyendo el desgaste del ánodo

Rectificador: Se utilizará un rectificador de regulación manual por taps, alimentación 220 VAC, dual, de 60 Hz de frecuencia refrigerado por inmersión en baño de aceite y montado sobre plataforma de concreto. El gabinete será construido con chapa de acero galvanizado por inmersión en caliente, calibre mínimo 11 y reforzado con aletas disipadoras para mejorar su resistencia y condiciones de enfriamiento. La unidad será del tipo a prueba de explosión, de acuerdo con la Norma UL 698. Tendrá un voltímetro y amperímetro de lectura continua. Con protección por descargas atmosféricas tanto en los circuitos de entrada como de salida, Este deberá ir a alimentado a una fuente de 220 voltios con su propia acometida y medidor de consumo.

Soldadura exotérmica: se usarán Encapsulaciones Epóxicas de resina 90- 3M o similar para garantizar el sello térmico y eléctrico de todas las conexiones ánodo y cable de distribución.

Soldadura Cadweld del tipo CAHA: se utilizará la soldadura cadweld tipo caha con sus propio kit de detonante para soldar las conductores de 14 AWG al ducto

de GLP y al Poliducto ya que es inseguro utilizar soldadura eléctrica. El procedimiento de la soldadura cadwel es detallado en los anexos.

Cajetín de prueba: El cajetín de prueba se colocará a 10 metros del ducto de GLP, este contará con un tubo galvanizado de 2.5 metros enterrado a tierra por el que atravesará un conductor de 14 AWG soldado al ducto y un conductor con las mismas características a un electrodo de Ag/AgCl enterrado a un metro de distancia del cajetín de prueba de marca . Caja para medición de diferencia de potencial en instalaciones de protección catódica. Se instalará en tuberías de conducción de gas para el monitoreo de los niveles de protección catódica de las estructuras y como vínculo entre dos o mas puntos aislados eléctricamente entre si. Según la función que cumplen en la red y de acuerdo a la cantidad de marcas a los cuales se vinculan eléctricamente, las cajas de medición se fabrican en hasta diez puntos.

Construida en aleación de aluminio de alta resistencia mecánica, la tapa es abisagrada con apertura sobre lado izquierdo en ángulo de 1800, lleva embutida una junta perimetral de neopreno para garantizar el grado de estanqueidad establecido. El cierre se efectúa mediante un bulón de cabeza triangular de Ø 5/16" en AISI 304, embutido hasta el nivel mismo de la superficie de la caja para evitar su apertura por personas no autorizadas. En la cara interna lleva cuatro nódulos roscados para sujetar la placa indicadora. En la pared de fondo y sobre la parte superior lleva dos nódulos para sujetar el riel DIN portante de los bornes de medición. Detrás del riel, un agujero de Ø 6,5 mm. se utiliza para fijar la caja, columnas o mampostería.

Las borneras están constituidas por el riel DIN EN 50035 sobre el que se fijan los mono bornes (hasta 5), contruidos en poliamida 6,6 con traba. En la base de la caja se ubican uno o dos conectores hembra tipo banana, para medición sin necesidad de abrir la caja.

Procedimiento técnico de diseño:

Una vez realizado los cálculos de diseño de densidad de corriente, intensidad de corriente, número de ánodos, espaciamiento entre ánodos, resistencia de cables, intensidad y voltaje de diseño se puede establecer el diseño de la protección catódica por corrientes impresas basados en las características del fabricante de los ánodos seleccionados y de la capacidad del rectificador

Este diseño se ha realizado para una vida útil de 15 años tomando en cuenta las características del terreno.

Aplicando los criterios de protección catódica según la norma NACE SP0286-2007 THE ELECTRICAL ISOLATION OF CATHODICALLY PROTECTED PIPELINES y PEABODY'S CONTROL OF PIPELINE CORROSION SECOND EDITION 2001.

- 1.- Realizar la excavación con retroexcavadora a 60 metros de distancia del ducto con una profundidad de 2 metros para la instalación del cableado eléctrico.
- 2.- Realizar la marcación de puntos exacta donde estarán los ánodos con su respectiva distancia de separación, esta deberá ser 15 metros de separación entre ánodos y 60 del ducto.
- 3.- Realizar el tendido de cable 1/0 AWG a lo largo de la excavación.
- 4.- Soldar el cable 1/0 AWG con los cables de ánodos de ferro silicio utilizando el kit de soldadura exotérmica con sus respectivas encapsulaciones y comprobar su eficacia después de 30 minutos a una temperatura de 60 °F.
- 5.- Rellenar con backfill los sitios marcados donde irán colocados los ánodos, rodear cada ánodo con tres costales de backfill o coque.
- 6.- Soldar cable 1/0 AWG al ducto de GLP por medio de la suelda Cadweld tomar las debidas precauciones y comprobar el buen estado de la soldadura luego colocar un parche con el propósito de evitar filtraciones de agua, oxígeno y cloruros hacia punto de soldadura.
- 7.- Realizar otro punto de soldadura con 10 m de Cable 14 AWG con una separación de 40 cm aproximadamente del primer punto, este será para la instalación del cajetín de toma de potencial.

8.- Realizar la obra civil de la caseta donde irá protegido el rectificador con su respectiva acometida para esto se necesitará un medidor de 220 v.

9.- Empotrar a una base de hormigón el rectificador, enfriado con aceite, trifásico con Entrada: 220 VAC, 30 Hz; Salida: 12,5V-75A el cual se ajusta a los requerimientos del sistema conectar la sección catódica (cable de 1/0 AWG soldado al ducto) polo (-), y conectar el cable de 1/0 AWG de la cama anódica enterrada al polo (+) del rectificador.

11.-Instalar la caja de toma potencial de un polo el cable de 14 AWG soldado al ducto y del otro polo el cable con el Electrodo permanente de Ag/AgCl enterrado a 1.5 metros de profundidad tomando en cuenta no invadir el derecho de vía.

12.- Al finalizar la instalación se realizará un informe técnico detallando las actividades realizadas así como los resultados y observaciones este incluirá fotos como evidencia del proceso.

Especificaciones Equipos y materiales sistema de puenteo de líneas.

Cajetines de prueba: los cajetines de prueba tienen exactamente las mismas características del descrito en especificaciones equipos y materiales del criterio 1 de la protección del ducto de GLP con la diferencia que en este diseño se utilizaran dos cajetines, uno que debe ir soldado al ducto de GLP con soldadura cadweld y con su respectivo parche bituminoso para protección del punto y otro que irá al poliducto La Libertad- Manta con el mismo procedimiento.

Conductores: se utilizaran conductores de cobre 12 AWG con doble aislamiento para soportar las condiciones del terreno, se soldará 80 metros en el ducto y poliducto respectivamente con soldadura cadweld listos para ser conectados a los bornes de la caja de conexiones.

Caja de conexión: la caja de conexión que se utilizara será simple de dos entradas de bornes para los conductores de 12 AWG provenientes del ducto y poliducto estas cajas cuentan con un borne de salida que es conectado al polo negativo de rectificación pero que no se utilizará ya que el diseño de protección

no implica la conexión de este, la caja de conexión será de calibre 16 de acero pintado con soporte de poste o soporte de montaje, interior de fibra de vidrio con placa de apoyo esta incluye resistencias e interruptores de selección.

La soldadura exotérmica y cadweld serán exactamente las mismas detalladas en especificaciones equipos y materiales del criterio 1.

Procedimiento:

1.- Se procederá a cavar con una retroexcavadora el punto exacto del cruce de líneas teniendo las debidas precauciones y con el personal de seguridad industrial a una profundidad de 1.5 m hasta encontrar el poliducto La Libertad- Manta.

2.- Luego se procederá a retirar las protecciones que generalmente vienen en adhesivos de polietileno en un área determinada procurando dejar completamente libre de impurezas y al ambiente el área de tubería a soldar.

3.- Se colocan los accesorios de soldadura cadweld sobre la tubería, cabe recalcar que en cada línea se soldarán dos puntos con cable 12 de 50 m de longitud en cada punto

el procedimiento de soldadura Cadweld se debe fundamentar bajo las normas NACE se debe verificar la correcta adherencia del cable en la tubería para evitar problemas futuros.

5.- Se procede a instalar dos cajetines de prueba uno para cada tubería de hidrocarburos a una distancia considerable evitando invadir el derecho de vía, se tomaran de cada tubería una línea de cable soldada que será conectada en el terminal positivo (+) del cajetín de prueba y el terminal negativo (-) se conectará al electrodo permanente de Ag/AgCl que irá enterrado a tierra.

6.- Se instala la caja de conexiones en un lugar determinado sin invadir el derecho de vía del poliducto con su reóstato y fusible para calibrar el amperaje y evitar

alguna sobrecarga eléctrica que afecte o altere protección catódica, esta irá conectada a los terminales de cada uno de los puntos del poliducto y gasoducto.

7.- Al finalizar la instalación se realizará un informe técnico detallando las actividades realizadas así como los resultados y observaciones este incluirá fotos como evidencia del proceso

CAPITULO 5

5 Conclusiones y Recomendaciones:

1.- El ducto de GLP desde la estación de bombeo FLOPEC hasta la estación de almacenamiento MONTEVERDE atravesara un medio altamente salino y agresivo por lo que se diseñaron dos criterios de protección catódica al ducto, por la misma zona también atraviesa el poliducto La Libertad- Manta que tiene su propia protección catódica por corrientes impresas con dos rectificadores más cercanos a esa zona, ubicados en Ballenita y Palmar y con dos lechos o camas anódicas.

2.- En el primer criterio de diseño se analizó el sistema de protección catódica por corrientes impresas al ducto de glp en el cual se realizaron los cálculos de corriente requerida, resistencia eléctrica, capacidad del rectificador el sistema tendría una cama anódica con 4 ánodos de ferro silicio cromo ubicados a 60 metros del ducto con un direccionamiento perpendicular a él. El sistema fue diseñado para 20 años de vida y se estimaron también los tiempos de duración de instalación del sistema así como los costos por instalación de mano de obra costos de materiales y equipos del mismo.

3.-En el segundo criterio de protección catódica al ducto de GLP se analizaron los potenciales mediante un recorrido realizado desde ballenita donde se encuentra un

rectificador que energiza el poliducto La Libertad Manta hasta el tramo de Palmar donde existe otro rectificador que cubre los requerimiento de protección, se realizaron los cálculos de intensidades de corriente y resistencias simulando el puenteo del ducto de glp con el poliducto La Libertad- Manta y se compararon con los criterios de potencial de protección del libro peabody 2001 así como lo que estipulan las normas NACE en el control de corrosión de tuberías. Cabe recalcar que en cada zona de rectificación existen lechos anódicos con ánodos de chatarra de hierro que cubren la protección del ducto.

4.-Se concluye que el criterio para el diseño de la protección catódica del ducto de glp conveniente es por puenteo de líneas ya que por medio de este se puede proteger el ducto sin necesidad de instalar lechos anódicos y rectificador en el perímetro Monteverde pues según los análisis de criterio en base a la experiencia del libro peabody 2001 de esta manera se evitaría una interferencia electroestática entre las dos tuberías que podría desencadenar un desgaste acelerado entre ellas por una caída del potencial de polarización en su protección.

5.- Los materiales y equipos así como costos de instalación y mano de obra en el diseño de puenteo de líneas son significativamente más baratos que los costos en un sistema de protección catódica por corriente impresa individual por lo que representa un ahorro económico para la empresa obteniendo los mismos resultados de protección al ducto de glp.

6.- Cuando se realice el puenteo de líneas entre el poliducto La Libertad- Manta y el ducto de glp los potenciales en los tramos analizados en el recorrido del poliducto bajarán a un potencial mínimo ya que se encuentra energizado por dos rectificadores externos con respecto a la zona de Monteverde que garantizan la protección de ambas tuberías por tener lechos anódicas diseñados recientemente que compensarán el desgaste por corrosión y evitarían una interferencia estática de polaridad.

7.- La vida útil de los lechos anódicos en el sistema de protección catódica al poliducto en el sector de Ballenita y Palmar es de 10 años y cada lecho cuenta con 10 ánodos de chatarra de hierro con una separación de 120 pies entre ellos con una configuración paralela al poliducto que compensa el desgaste másico por inducción de corriente cuando se realice la instalación de la caja de conexión entre el ducto y el poliducto ambos sistemas protegerán también al ducto de glp.

Recomendaciones:

1.- La protección catódica por corrientes impresas previene un ataque de corrosión en zonas desprotegidas de la tubería más comúnmente por erosión o picaduras puntuales que se dan por una mala manipulación al bajar la tubería, por presión del terreno sobre la tubería o también por encapsulamiento de aire en el recubrimiento adhesivos de polietileno que recubre la tubería por lo que se recomienda realizar una prueba visual del recubrimiento en los tramos de tubería a bajar para la detección de dichos encapsulamientos y evitar golpear la tubería al momento de bajar a su posición de diseño.

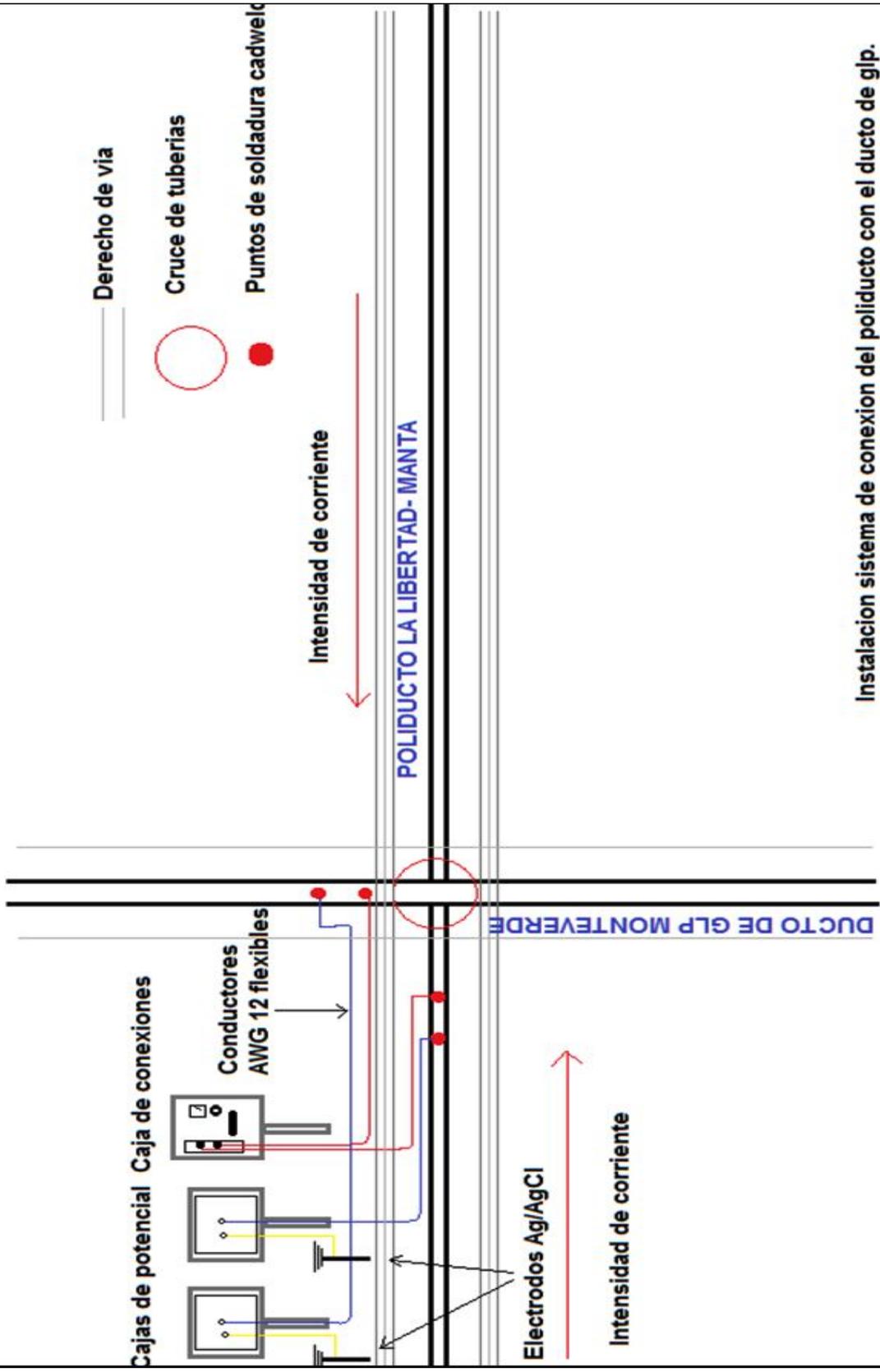
2.-El estudio del diseño de puenteo de líneas para el ducto de GLP se contempla una revisión mensual de los equipos y accesorios que conforman este sistema por lo que se recomienda la supervisión de los rectificadores de Ballenita y Palmar y la toma de potenciales en los dos cajetines de prueba que se instalaran en Monteverde procurando siempre que el valor de potencial para ambos no sea menor a -850 mv si este no fuera el caso se deberá inspeccionar el problema de caída de potencial que deja vulnerable a ambas tuberías en un medio altamente agresivo.

3.-Al momento de realizar los 4 puntos de soldadura exotérmica se deben tomar las debidas precauciones ya que ésta contempla el uso de pólvora explosiva que puede perjudicar al operador. Se debe cerciorar si los puntos de soldadura están correctamente fundidos ya que de no ser así las medidas de potencial en los cajetines de pruebas marcarán datos erróneos y en la caja de conexión no se

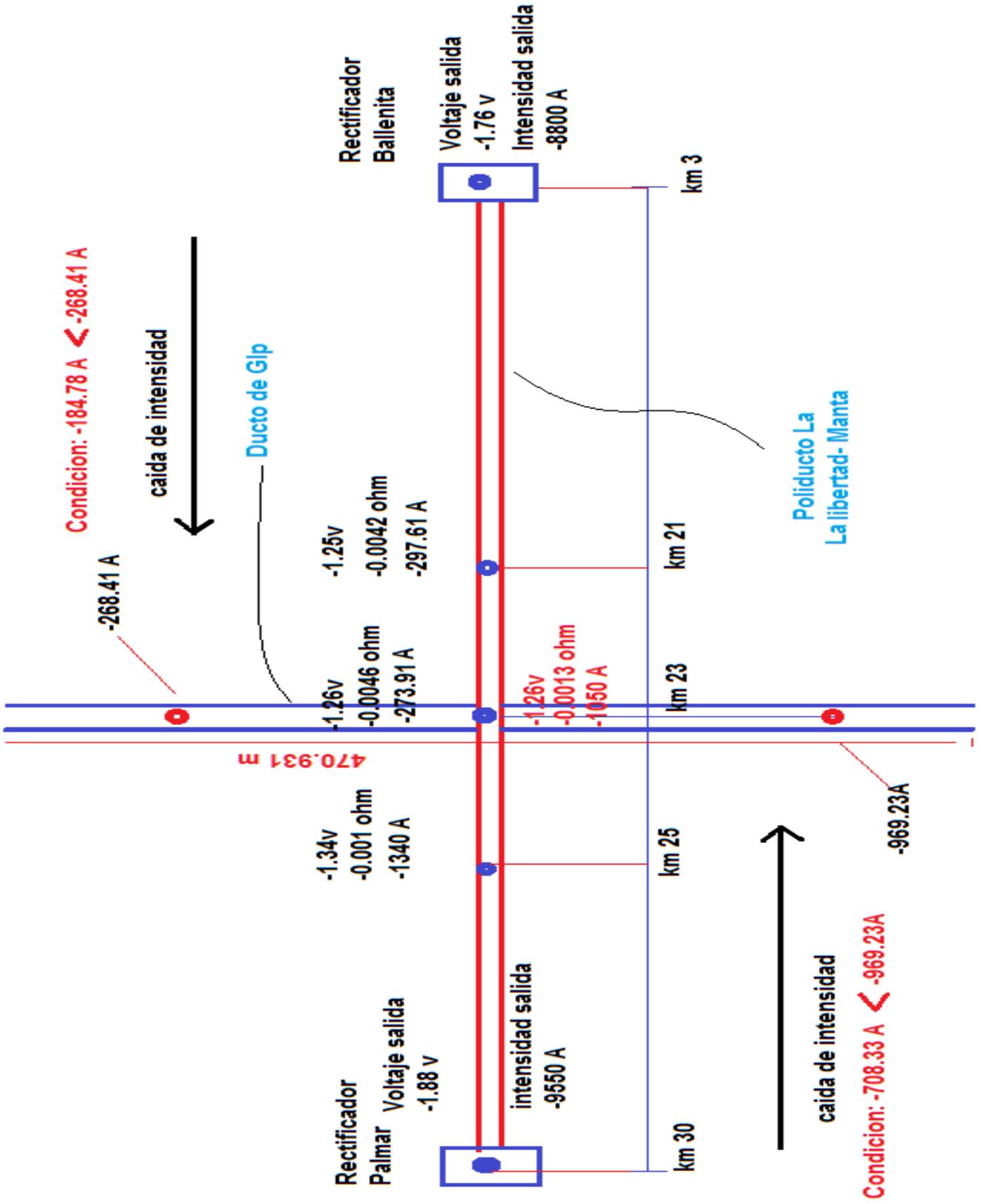
garantizará la protección del tramo de ducto de glp desde la estación de bombeo Flopec hasta la estación de bombeo Monteverde.

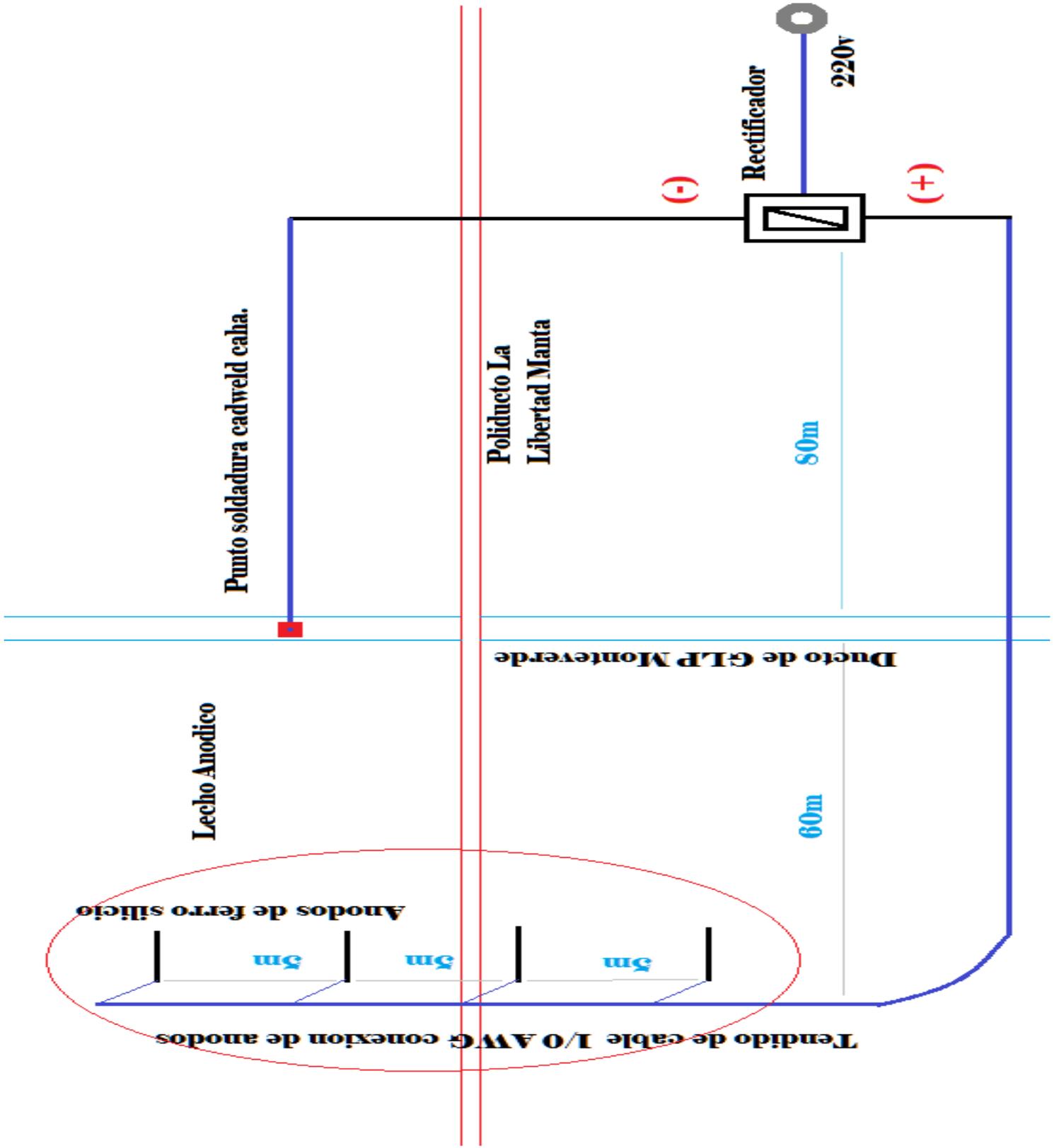
4.- Se recomienda realizar una inspección de las camas anódicas ubicadas en Ballenita y Palmar cuando se detecte una disminución en el potencial electrostático de las líneas de hidrocarburos con el fin de reemplazar los ánodos si estos tienen un desgaste de al menos el 75% para evitar un ataque agravado por corrosión.

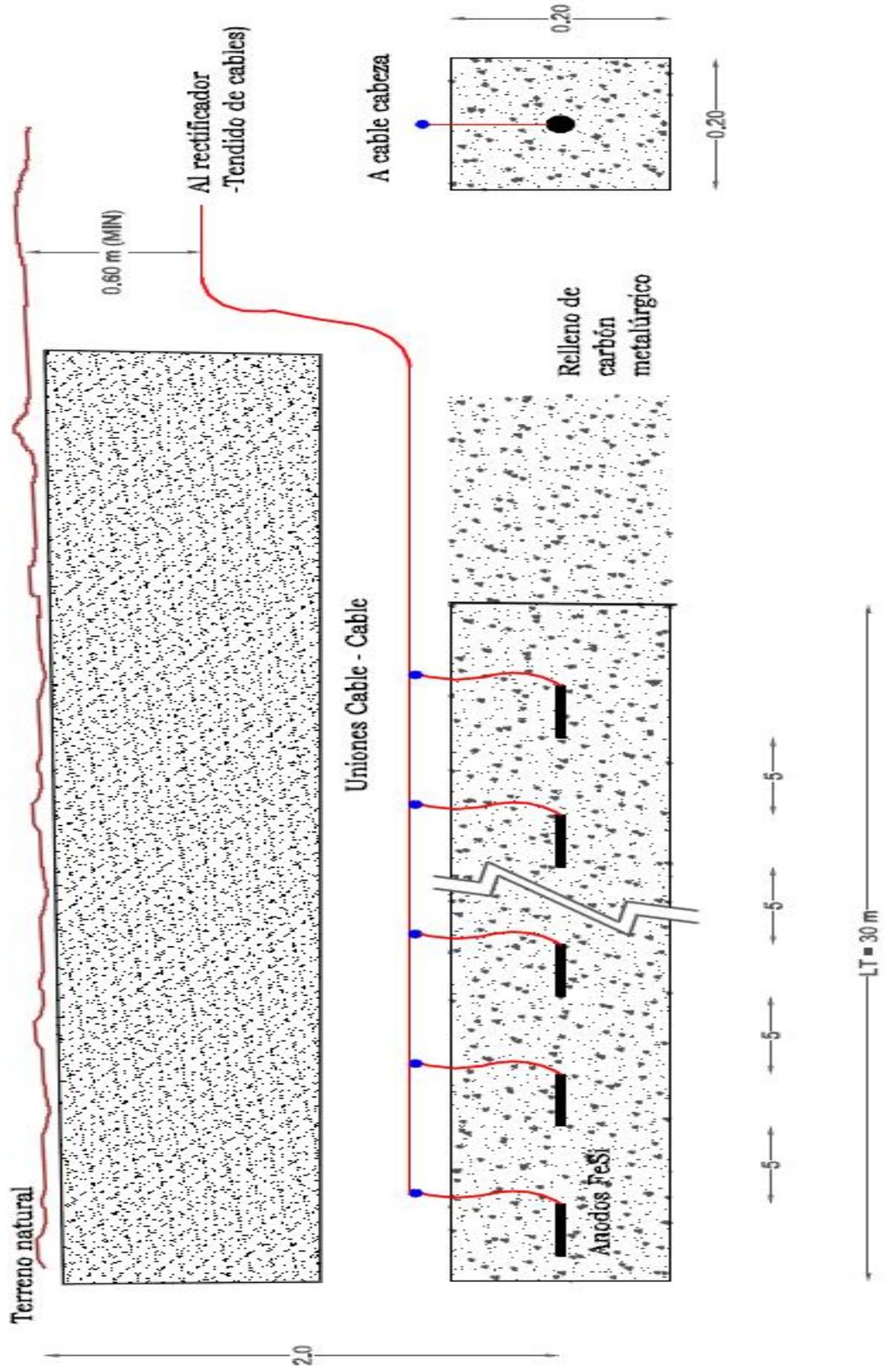
APÉNDICE A
PLANOS

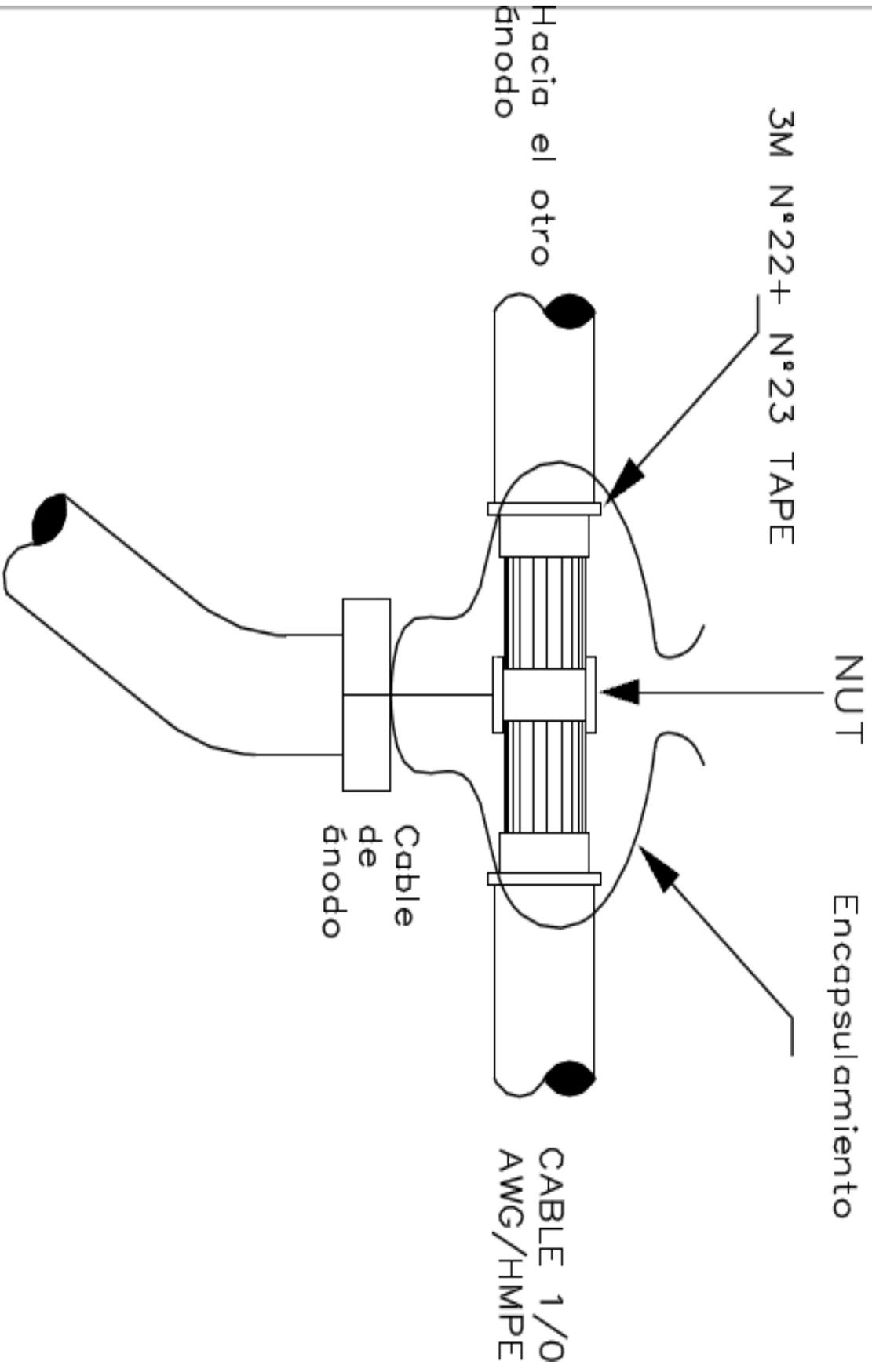


Instalacion sistema de conexion del poliducto con el ducto de glp.









APÉNDICE B
CATÁLOGO DE LOS EQUIPOS

Anodos Fundidos de Ferro Silicio Cromo Sólidos (Durichlor 51)

Prevención y Protección probada para una larga vida

Los ánodos fundidos de Ferro Silicio se han venido usando por más de cuatro décadas en la protección subterránea contra la corrosión de las estructuras.

Durante este periodo, los ánodos han probado ser uno de los materiales más rentables en Protección Catódica. Esto ha provocado una larga demanda por estos productos, CEEMSA comercializa una gran variedad y surtido de ánodos de Ferro Silicio Cromo fundidos para usarse en todo tipo de estructuras. Estos ánodos fundidos son los de aleación (D 51).

Con esta aleación especial CEEMSA ofrece ánodos de gran poder de protección. Esto también permite que en los ánodos se forme una delgada película de dióxido de silicio en su superficie, lo cual produce un bajo consumo. La capacidad de consumo por cada ánodo de Ferro Silicio Cromo es de 0.5 a 1.0 lbs./amp.-año en el mar. Se recomienda que los ánodos operen bajo una densidad de corriente de 1 amp./pie².

Para compensar el efecto de extremo, lo cual causa incremento de consumo en el extremo longitudinal del ánodo, los ánodos de Ferro Silicio Cromo son fundidos con más material cerca de la conexión, es decir cuentan con un extremo agrandado. Se puede seleccionar entre capuchones de neopreno o capuchones termocontráctiles. No se tiene en cuenta que tipo de capuchón aislante se haya seleccionado, la resistencia de cable del ánodo será menor o igual a 0.004 ohms.

COMPOSICION QUIMICA

ELEMENTO	CONTENIDO %
C	0.70 - 1.10
Mn	1.50 Max
Si	14.20 - 14.75
Cr	3.25 - 5.00
Mo	0.20 Max
Cu	0.50 Max
Fierro	RESTO

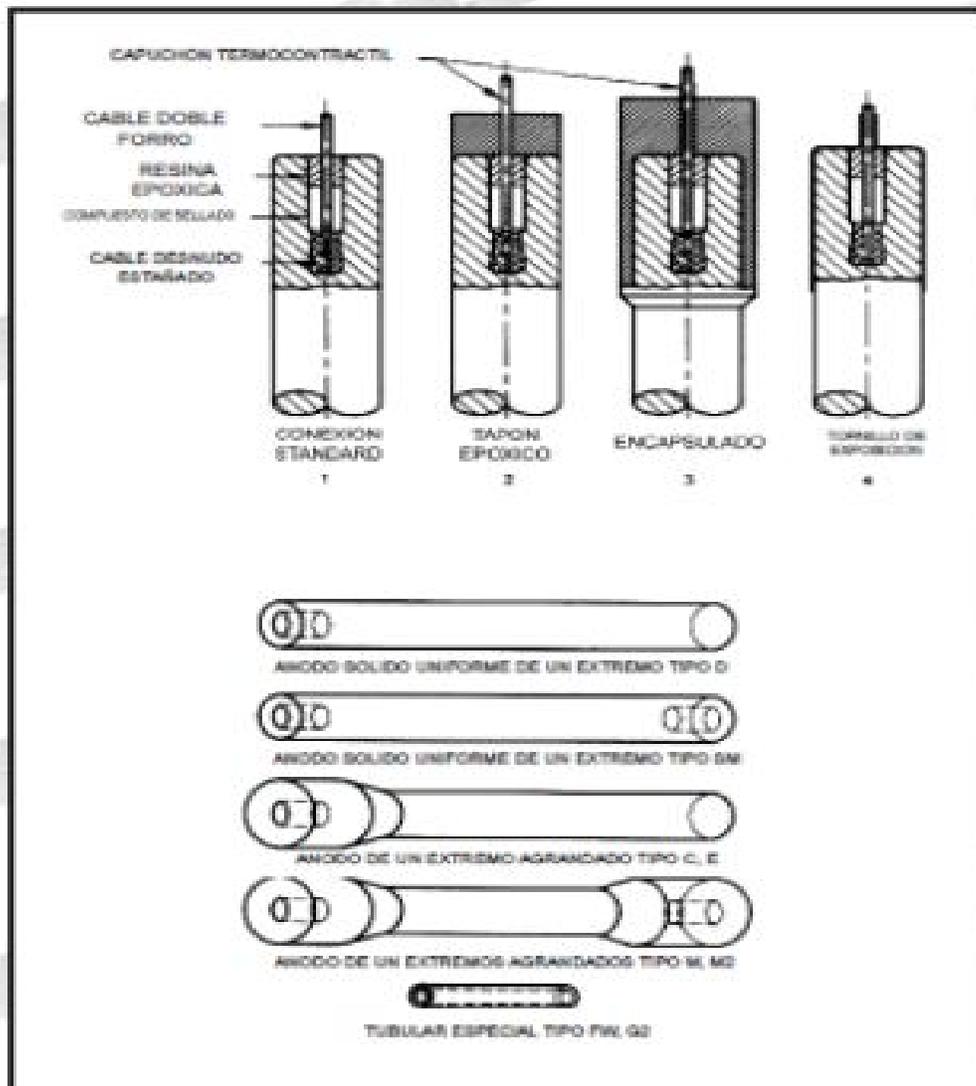
Aplicaciones Típicas

Los ánodos sólidos fundidos de Ferro Silicio Cromo sólidos se pueden usar en tierra y agua. Su composición química que es única provoca que los ánodos trabajen efectivamente en ambientes salinos, agua salobre y otros ambientes que contengan iones de cloruro. Los ánodos también operan muy bien en pozo profundo y en aplicaciones subterráneas donde por lo general se generan gases de hidrógeno. Los ánodos pueden ser instalados desnudos o en backfill el uso del backfill mejora la eficiencia en aplicaciones en terrenos no acuosos. El backfill incrementa el área de descarga y baja el consumo en alrededor de 0.25 lbs./amp.-año. Los ánodos fundidos de Ferro Silicio Cromo que CEEMSA comercializa, están disponibles en barra y preempacado en canister que contenga backfill de carbón de coque.

Orden de Pedido

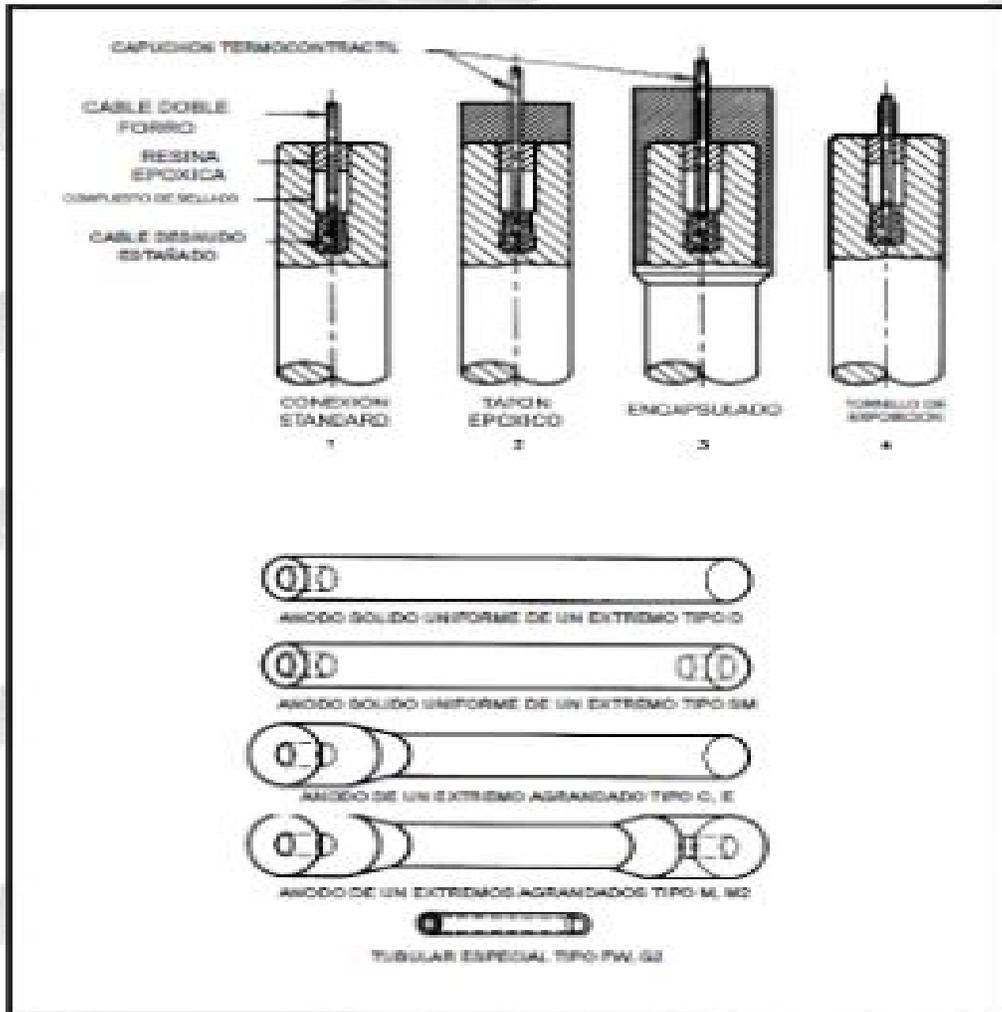
Los ánodos de Ferro Silicio Cromo que CEEMSA comercializa se encuentran en varias presentaciones, con diferentes longitudes de cable, diferentes capuchones y en diferentes opciones de empaado. Para ordenar se requiere el tipo de ánodo e indicar el tipo de estructura, (sólidos o tubulares) Indique los ánodos sólidos fundidos de Ferro Silicio Cromo que va necesitar, el tipo de ánodo, el tipo de conexión y capuchon, la longitud y el calibre del cable, el diámetro del ánodo y el largo y si desea el ánodo empaado o desempacado.

EJEMPLO DE ORDEN DE PEDIDO	
ELEMENTO	EJEMPLO
CANTIDAD	200
MATERIAL ANODO	BARRA SOLIDA DE FERRO SILICIO CROMO
TIPO DE ANODO	D
CAPUCHON	TERMOCON- TRACTIL
ALAMBRE LONGITUD	3 m
TAMANO (#E-ESTANDAR)	#8 AWG
ISLAMIENTO (HMWPE-ESTANDAR)	HMWPE
EMPAADO DESNUDO O EMPAADO	EMPAADO (EMPAADO)



DIMENSIONES ESTABLECIDAS Y PESOS DE EMBARQUE

TIPO ANODO	DIMENSIONES NOMINALES PULG. (mm)		PESO BARRA DESNUDO		AREA PIE ² (cm ²)
	Ø	L	lbs	(kg)	
FW	1.13 (29)	9 (229)	1 (.5)		0.22 (.02)
G2	2 (51)	9 (229)	5 (2.3)		0.40 (.04)
CD	1.5 (38)	60 (1524)	25 (11.4)		2.0 (.19)
D	2 (51)	60 (1524)	44 (20.0)		2.5 (.24)
M	2.25 (57)	60 (1524)	63 (28.6)		2.8 (.26)
M1	2.25 (57)	60 (1524)	66 (29.5)		2.8 (.26)
E	3 (76)	60 (1524)	110 (49.9)		4 (.37)
SM	4.5 (114)	60 (1524)	220 (99.9)		5.5 (.51)



DIMENSIONES ESTABLECIDAS Y PESOS DE EMBARQUE

TIPO ANODO	DIMENSIONES NOMINALES PULG (mm)		PESO BARRA DESNUDO		AREA PIE ² (CM ²)
	Ø	L	lbs	(kg)	
FW	1.13 (29)	9 (229)	1	(.5)	0.23 (.02)
GZ	3 (51)	9 (229)	5	(2.3)	0.40 (.04)
CD	1.5 (38)	60 (1524)	25	(11.4)	2.0 (.19)
D	2 (51)	60 (1524)	44	(20.0)	2.6 (.24)
M	2.25 (57)	60 (1524)	63	(28.6)	2.8 (.26)
MI	2.25 (57)	60 (1524)	66	(29.5)	2.8 (.26)
E	3 (76)	60 (1524)	110	(49.9)	4 (.37)
SM	4.5 (114)	60 (1524)	220	(99.8)	5.5 (.51)



Anodos de Barra Sólida Durichlor 51

Alta Tecnología
Ahora Tecnología Super-tec.



Estándar Enfriado por Aire

Características Opcionales:

Como características opcionales según pedido suministramos las unidades con:

- ☑ Horometro digital en DC.
- ☑ Interruptor (ciclador) con ajuste Individual On / Off entre 0,2-40,0 segundos.
- ☑ Voltímetro / Amperímetro Digitales.
- ☑ Horometro digital en AC.
- ☑ Terminal de salida negativa para dos o más estructuras.
- ☑ Múltiples opciones del cofre y recubrimientos de acabado.
- ☑ Sistema electrónico de auto-diagnóstico de diodos, con visualización por leds.
- ☑ Monitoreo Remoto tradicional o para Scada.
- ☑ Puente rectificador con stacks en selenio.
- ☑ Múltiples opciones de alimentación AC, incluido rectificadores trifásicos (* Ver código de compra).
- ☑ Mayor Cantidad de taps gruesos y finos.

Características Estándar:

- ☑ Enfriamiento por Aire o Aceite.
- ☑ Transformador de Trabajo Pesado.
- ☑ Bobina tipo "choque".
- ☑ Voltímetro y Amperímetro Digital
- ☑ Voltímetro y Amperímetro Análogo para Equipos Pequeños.
- ☑ Puente rectificador con Diodos de Silicio.
- ☑ Protección de descargas (Lighting Arresters) en AC y DC.
- ☑ Fusibles de acción rápida en AC y DC.
- ☑ Ajuste para el voltaje de salida de 20 pasos (4 gruesos/ 5 finos).
- ☑ Toma corriente útil de 110 voltios polarizada.
- ☑ 3 Puertas desmontables.
- ☑ Caja tipo Nema 3R, 4X y Pintura electrostática.
- ☑ Alimentación dual 110 / 220 Voltios.
- ☑ Tecnología Super-tec (Ver página 2).
- ☑ Garantía de 12 meses con asistencia técnica en la instalación.



Modulo Extraible Rectificador
Refrigeración en Aceite

Características Especiales:

Conociendo las necesidades específicas de nuestros clientes, estamos en posibilidad de ofrecerles rectificadores de acuerdo con cualquier solicitud. Ofrecemos rectificadores portátiles para pruebas de campo.



Caja en Acero Inoxidable

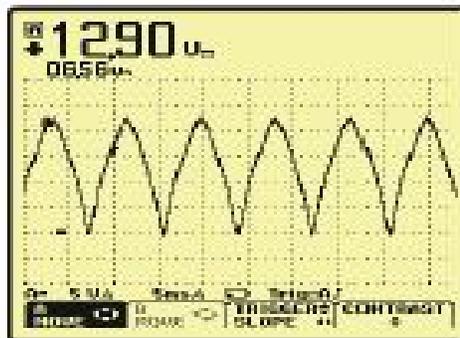


Rectificador Portátil con interruptor incorporado

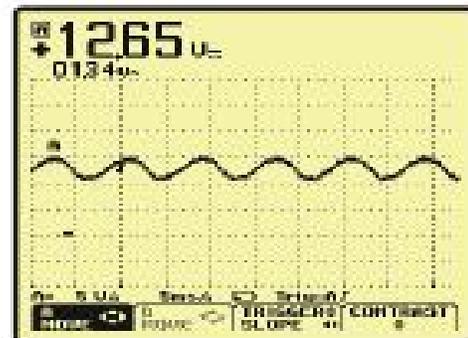
Para aplicaciones bajo techo nuestras cajas son de acero Cold-Roll con pintura tipo poliéster de aplicación electrostática. Para trabajo a la intemperie se ofrecen cajas en Acero inoxidable, Acero galvanizado y Aluminio.

Tecnología : Super-tec®

La Innovación tecnológica está presente en todos nuestros equipos. Bien sea por adquisición o por desarrollo, estamos en un proceso de mejoramiento continuo de las unidades. Un ejemplo de esto es la tecnología Super-tec® desarrollada para que la salida del rectificador (Vdo, Ido) sea una onda suave, como si se tratara de una fuente de corriente directa pura (batería). Las figuras de la parte inferior muestran las huellas osciloscópicas de rectificadores sin y con tecnología Super-tec®.



Onda rectificada convencional



Onda de salida con Super-Tec

Repuestos y Asistencia:

Tenemos un amplio stock de repuestos para su equipo rectificador, entre otros:

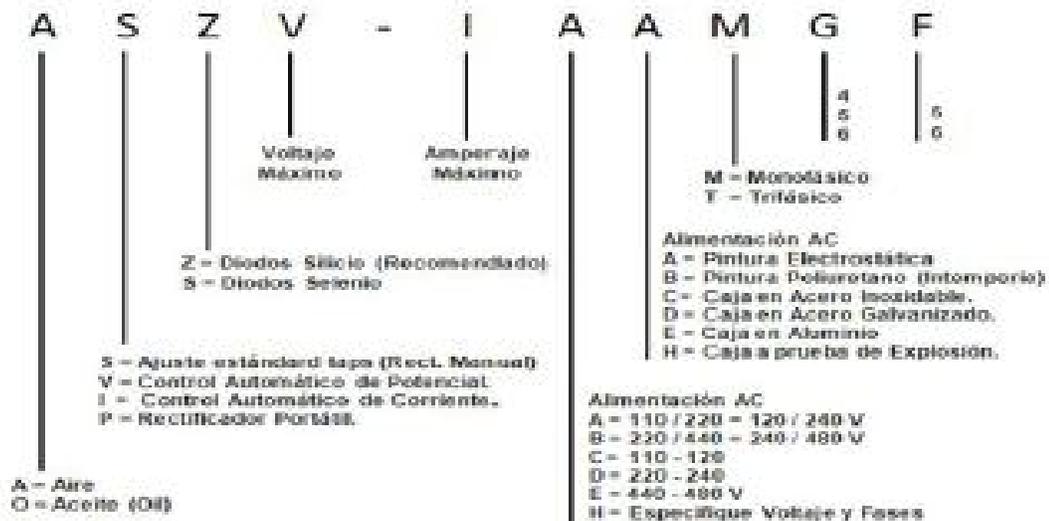
- ☑ Transformadores.
- ☑ Choques.
- ☑ Puentes rectificadores.
- ☑ Disipadores de calor.
- ☑ Diodos.
- ☑ Horímetros.
- ☑ Voltímetros / Amperímetros
- ☑ Análogos o Digitales.
- ☑ Shunts.
- ☑ Varistores.
- ☑ Supresores de sobrevoltaje en AC y DC.
- ☑ Fusibles para semiconductores
- ☑ Baquelitas.



**Rectificador Modular
Extraible**

Gracias a nuestra amplia experiencia en el área y a nuestro personal especializado, estamos en capacidad de realizar cualquier mantenimiento y problemas con sus unidades rectificadoras, inclusive conversión de unidades automáticas a unidades manuales robustas.

Código de Compra Rectificadores



Casos Históricos



Foto 1 y 2 – Rectificadores con Gabinete Abierto y Cerrado en Petrobrás – Colombia.



Foto 3 y 4 – Rectificadores para Estaciones de Gasolina – Puerto Rico (USA)



Foto 5 – Rectificadores para PC del Fondo de 4 Tanques de 20,000 bbls

CPF Palo Azul – Bloque 18 – Ecuador



*Foto 6 – Rectificador y Unidad de Monitoreo Remoto para Scada
Proyecto Camisea - Perú.*



Foto 7 – Detalle Interior Rectificador Enfriado por Aire.



*Foto 8 y 9 – Interior Rectificador Enfriado por Aceite
y Gabinete Rectificador Enfriado por Aire para instalación en Poste.*



Soldaduras Termofusión

CARACTERÍSTICAS

- Las soldaduras de termofusión CADWELD PLUS, es el último desarrollo en la continua evolución de los productos exotérmicos de ERICO®. El sistema revolucionario de CADWELD PLUS es un método simplificado para realizar conexiones eléctricas soldables exotérmicas. El proceso de instalación elimina los materiales de ignición y reduce el tiempo de preparación. El recipiente hermético, que contiene la soldadura, consiste en una copa metálica que aloja el material de soldadura patentado CADWELD y a la fuente de ignición.
- Reduce los tiempos de ejecución en un 20%.
- Fácil de manejar, almacenar y transportar. Sin caducidad de almacenamiento.
- Requieren un mínimo de componentes, sin material de arranque ni disco de retención.
- Este nuevo paquete está diseñado para utilizarse con moldes CADWELD. Una vez colocado en el molde, el material de soldadura es activado electrónicamente por medio de una unidad de control operada por baterías (ignitor electrónico).

APLICACIONES

- Desde su desarrollo en 1938, las conexiones eléctricas CADWELD han sido reconocidas como lo mejor en conexiones para la industria de ferrocarriles, protección catódica y aplicaciones en redes de distribución para sistemas de tierra o energía.
- Para conexiones de barras de toma tierra en viviendas, exigidas en toda instalación eléctrica interior por SEC.

NORMA DE FABRICACIÓN

- UL KDER,E83942

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MARCA	COLOR ENVASE	MODELO
3410002	CAPSULA COMPUESTA P/SOLDAR CADWELD #32 PLUS	CADWELD	BLANCO	32PLUSF20
3410000	CAPSULA COMPUESTA P/SOLDAR CADWELD #45 PLUS	CADWELD	AZUL CLARO	45PLUSF20
3410001	CAPSULA COMPUESTA P/SOLDAR CADWELD #65 PLUS	CADWELD	VERDE OSCURO	65PLUSF20
3404000	CAPSULA COMPUESTA P/SOLDAR CADWELD #90 PLUS	CADWELD	GRIS	90PLUSF20
3404035	CAPSULA COMPUESTA P/SOLDAR CADWELD #115 PLUS	CADWELD	NARANJA	115PLUSF20
3404025	CAPSULA COMPUESTA P/SOLDAR CADWELD #150 PLUS	CADWELD	AZUL OSCURO	150PLUSF20
3404020	CAPSULA COMPUESTA P/SOLDAR CADWELD #200 PLUS	CADWELD	AMARILLO	200PLUSF20
3415001	CONECTOR TERMOFUS. ONE SHOT GT1 P/BARRA 5/8"	CADWELD	—	GT1161VPLUS



Soldaduras Termofusión

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MARCA	CARACTERÍSTICAS
3415003	MOLDE GRAFITO TAC-1V1V PLUS	CADWELD	CONEXION T HORIZONTAL, CALIBRE PRINCIPAL 2AWG, DERIVACION 2AWG, USA CARGA 45PLUSF20,
3415005	MOLDE GRAFITO TAC-2Q1V PLUS	CADWELD	CONEXIÓN T HORIZONTAL, CALIBRE PRINCIPAL 4/0AWG, DERIVACION 2AWG, USA CARGA 90PLUSF20,
3415015	MOLDE GRAFITO XAC-2G2G PLUS	CADWELD	CONEXION 'X' HORIZONTAL, CALIBRE COND. DE PASO: 2/0AWG, DERIVACION: 2/0AWG, USA CARGA 115PLUSF20,CAJA 1PZ,
3415020	MOLDE GRAFITO TAC-2G2G PLUS	CADWELD	CONEXION T HORIZONTAL, CALIBRE PRINCIPAL 2/0AWG, DERIVACION 2/0AWG, USA CARGA 90PLUSF20,
3415030	MOLDE GRAFITO TAC-2G1V PLUS	CADWELD	CONEXION T HORIZONTAL, CALIBRE PRINCIPAL 2/0AWG, DERIVACION #2AWG, USA CARGA 45PLUSF20,
3415012	IGNITOR ELECTRONICO	CADWELD	INCLUYE CABLE EXTENSOR DE 1,8MTRS Y 8 BATERIAS NORMALES AA,
3415010	CHISPERO CADWELD T-320	CADWELD	—
3415025	TENAZA TIPO L160	CADWELD	PARA USO EN MOLDES ESTANDAR DE 3 PULGADAS,
3415002	ANODO SACRIFICIO MG BNC-GAL-001	CADWELD	PROTEGE DE LA CORROSION A TUBERIAS DE ACERO EN CONTACTO DIRECTO CON EL SUELO,

INSTALACION

4 pasos sencillos para conexiones eléctricas soldadas permanentes



Inserte el contenedor metálico de CADWELD PLUS dentro del molde (requiere el uso de una cubierta/beffle)



Conecte la terminal de la unidad de control a la línea de ignición.



Presione y mantenga el botón de la unidad de control y espere la ignición.



Abra el molde y retire el contenedor de acero utilizado - no requiere de cuidados especiales para su desecho.

APÉNDICE C
OTROS



REPORTE LECTURA POTENCIALES DE PROTECCIÓN CATÓDICA

Código:	H01.02.03-PR-292-FO-02
Fecha:	12/12/2011
Versión:	1

DUCTO: LIBERTAD-MANTA
FECHA: 12 DE DICIEMBRE DEL 2011

PUNTO KILOMÉTRICO	COORDENADAS UTM		POTENCIAL (mV)			Resistividad Terreno (Ohm-cm)	CONDICION CLIMATICA	REFERENCIA GEOGRÁFICA	OBSERVACIONES
	X	Y	OFF	ON	DIFERENCIA ON-OFF				
0+000				-1580			Seca	Estac. Cabece ra La Libertad	
02+000				-1630			Seca	Nueva Jerusalen	
03+000				-1760			Seca	Rectificador Ballenita	
03+750				-1800			Seca	Cerro Antenas	
06+250				-1560			Seca	Capaes	
07+980				-1450			Seca	Capaes	
10+100				-1390			Seca	FAE	Cambio de cajetín
12+050				-1340			Seca	Pta. Blanca	
14+050				-1280			Seca	Pta. Blanca	
16+000				-1280			Seca	Estac. Canada Grande	
17+850				-1228			Seca	Canada Grande	Robo de cajetín, los cables si registran potencial
20+000				-1270			Seca	Canada Grande	
22+000				-1270			Seca	Ecuasal	Cambio de borneras
24+000				-1250			Seca	Ecuasal	
26+000				-1260			Seca	Ecuasal	Robo de poste señalizador
28+000				-1340			Seca	Ecuasal	
30+200				-1190			Seca	Jambelí	
31+750				-1450			Seca	Fátima	
33+650				-1880			Seca	Palmar	
33+750				-1910			Seca	Rectificador Palmar	
36+000				-1570			Seca	Palmar	
37+750				-1520			Seca	Pueblo Nuevo	
39+350				-1440			Seca	Reservorio Agua Pen	
41+900				-1330			Seca	San Pedro	
43+650				-1280			Seca	Valdivia	
43+950				-1250			Seca	Valdivia	
46+000				-1220			Seca	Valdivia	
47+900				-1140			Seca	Playa Bruja	
50+000				-1160			Seca	Libertador Bolivar	
50+780				-1170			Seca	Paso elevado	
53+400				-1150			Seca	Rio Chico-	Cambio de

							Antena CNEL	cajetín	
53+700				-1150			Seca	Cadeate	
55+700				-1340			Seca	Manglaralto Pista Aérea	
57+600				-1320			Seca	Montañita Loma	
58+500				-1380			Seca	Montañita El Tigrillo	
59+750				-1510			Seca	Antenas Santuario	
61+650				-1820			Seca	Olón	
61+750				-1630			Seca	Rectificador Olón	Cambio de borneras



REPORTE LECTURA POTENCIALES DE PROTECCIÓN CATÓDICA

Código:	H01.02.03-PR-292-FO-02
Fecha:	12/12/2011
Versión:	1

DUCTO: LIBERTAD-MANTA
FECHA: 12 DE DICIEMBRE DEL 2011

PUNTO KILOMÉTRICO	COORDENADAS UTM		POTENCIAL (mV)			Resistividad Terreno (Ohm-cm)	CONDICION CLIMATICA	REFERENCIA GEOGRÁFICA	OBSERVACIONES
	X	Y	OFF	ON	DIFERENCIA ON-OFF				
63+750				-1490			Seca	Hacienda Oloncito	
65+750				-1260			Seca	San Jose	
68+000				-1120			Seca	Las Nuñez	
70+900				-1080			Seca	La Entrada- Antena CENETEL	
71+700				-1060			Seca	La Entrada- Antena Porta	
73+250				-950			Seca	La Rinconada- Pueblo	
73+850				-940			Seca	La Rinconada- Trocha	
75+650				-890			Seca	Atamari	
78+500				-940			Seca	Río Ayampe	
80+350				-960			Seca	Pto. Rico	
82+550				-1080			Seca	Pto. Rico	Reparar cajetín
84+500				-1140			Seca	Pueblo Nuevo	
88+600				-1340			Seca	Salango	

91+000				-1490			Seca	Pto. López	
93+700				-1750			Seca	Rectificador Pto. López	
94+450				-1680			Seca	Lomas Pto. López	
96+450				-1580			Seca	Parque Machalilla	
98+450				-1460			Seca	Parque Machalilla	
100+250				-1430			Seca	Aguas Blancas	
102+550				-1340			Seca	Aguas Blancas	
104+600				-1320			Seca	Aguas Blancas	
106+300				-1280			Seca	Machalilla- parque iglesia	
110+800				-1190			Seca	Machalilla- montaña	
112+550				-1180			Seca	Pueblo Nuevo-paso elevado	
114+350				-1090			Seca	Entrada a pie por 113+750	
116+400				-1080			Seca	Entrada a pie por 113+750 Salaite	
120+000				-1010			Seca	Cruce de tubería	
122+240				-1030			Seca	Válvula del 122+100	
124+400				-1020			Seca	Pto. Cayo	
126+450				-1020			Seca	Pto. Cayo	
128+400							Seca	Pto. Cayo	Reparar cables
130+400				-970			Seca	Paso aéreo	
131+700				-970			Seca	Los Bajos	
132+450				-970			Seca	Los Bajos	
134+520				-990			Seca	Los Bajos	
136+500				-1000			Seca	Los Bajos	
138+550				-990			Seca	Los Bajos	
140+500				-990			Seca	Válvula Las Pampas	
142+520							Seca	Trocha los bajos	Reparar cables
144+550				-1030			Seca	Trocha los bajos	



GERENCIA DE TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO
INTEGRIDAD Y CONFIABILIDAD



FICHA TECNICA DE TRANSRECTIFICADORES
TRANSRECTIFICADOR DE BALENITA

DATOS TECNICOS		FOTO TRANSRECTIFICADOR
ID. EQUIPO:	001-REC-240	
EQUIPO:	TRANSRECTIFICADOR	
MARCA:	RIO TRANSRECTIFIER	
MODELO:	ACB	
SERIE:	820379	
VOLTAJE:	220 V / 480 V	
AMPERAJE:	8.6 A / 4.3 A	
VOLTAJE D.C:	45	
AMPERAJE D.C:	30	
TEMPERATURA:	45 ° C	
POTENCIA:	1	
UBICACIÓN:	BALENITA (PK-02+250)	
PROCEDENCIA:	TEXAS	
INFORMACION:	<i>Rio Engineering Co. Division Cathodic Protection Services Inc.</i>	

FOTO MEDIDOR CORRIENTE	MEDIDOR CLASE-100	
	DATOS TECNICOS	
	LECTURA:	21056
	SERIE:	23-374-067
	VOLTAJE:	240 V
	FASE:	1
	DESIGNADO:	EPETROECUADOR
	No.	850400
OBSERVACION:		

PLANO DE UBICACIÓN

MEMORANDO No. 27356-TINC-2011

PARA: COORDINADOR SENIOR DE INTEGRIDAD Y CONFIABILIDAD
DE: INSPECTOR TECNICO DE INTEGRIDAD Y CONFIABILIDAD
ASUNTO: RECORRIDO DEL POLIDUCTO LIBERTAD-MANTA CUARTO TRIMESTRE 2011
FECHA: 13 DE DICIEMBRE DEL 2011

Por medio de la presente le informo, que en atención al Memorando 27354-TINC-2011, se realizó la toma de potenciales que comprenden el Sistema de Protección Catódica del Poliducto Libertad-Manta, los días 7,8,10,11 y 12 de diciembre del 2011.

Objetivo

Tomar la medición de los potenciales y registrar las observaciones sobre el estado en que se encuentran los cajetines del sistema de protección catódica para garantizar la protección y control de las tuberías enterradas del Poliducto Libertad-Manta.

Materiales

- Multímetro marca Fluke 787.
- Electrodo de referencia de Cu/CuSO₄



EP PETROECUADOR
GERENCIA DE TRANSPORTE
Y ALMACENAMIENTO

www.eppetroecuador.ec

 PETROECUADOR	REPORTE LECTURA POTENCIALES DE PROTECCIÓN CATÓDICA	Código:	H01.02.03-PR-292-FO-02
		Fecha:	12/12/2011
		Versión:	1

DUCTO: LIBERTAD-MANTA
FECHA: 12 DE DICIEMBRE DEL 2011

PUNTO KILOMÉTRICO	COORDENADAS UTM		POTENCIAL (mV)			Resistividad Terreno (Ohm- cm)	CONDICION CLIMATICA	REFERENCIA GEOGRÁFICA	OBSERVACIONES
	X	Y	OFF	ON	DIFERENCIA ON-OFF				
0+000	1				-1580		Seca	Estac. Cabecera La Libertad	
02+000	2				-1630		Seca	Nueva Jerusalen	
03+000	3				-1760		Seca	Rectificador Ballenita	
03+750	4				-1800		Seca	Cerro Antenas	
06+250	5				-1560		Seca	Capaes	
07+980	6				-1450		Seca	Capaes	
10+100	7				-1390		Seca	FAE	Cambio de cajetin
12+050	8				-1340		Seca	Pta. Blanca	
14+050	9				-1280		Seca	Pta. Blanca	
16+000	10				-1280		Seca	Estac. Canada Grande	
17+850					-1228		Seca	Canada Grande	Robo de cajetin, los cables si registran potencial
	11								
20+000	12				-1270		Seca	Canada Grande	
22+000	13				-1270		Seca	Ecuasal	Cambio de borneras
24+000	14				-1250		Seca	Ecuasal	
26+000	15				-1260		Seca	Ecuasal	Robo de poste señalizador
28+000	16				-1340		Seca	Ecuasal	
30+200	17				-1190		Seca	Jambeli	
31+750	18				-1450		Seca	Fátima	
33+650	19				-1880		Seca	Palmar	
33+750	20				-1910		Seca	Palmar	
36+000	21				-1570		Seca	Palmar	
37+750	22				-1520		Seca	Pueblo Nuevo	
39+350	23				-1440		Seca	Reservorio Agua Pen	
41+900	24				-1330		Seca	San Pedro	
43+650	25				-1280		Seca	Valdivia	
43+950	26				-1250		Seca	Valdivia	
46+000	27				-1220		Seca	Valdivia	
47+900	28				-1140		Seca	Playa Bruja	
50+000	29				-1160		Seca	Libertador Bolivar	
50+780	30				-1170		Seca	Paso elevado	
53+400	31				-1150		Seca	Rio Chico-Antena CNEL	Cambio de cajetin
53+700	32				-1150		Seca	Cadeate	
55+700	33				-1340		Seca	Manglaralto Pista Aérea	
57+600	34				-1320		Seca	Montañita Loma	
58+500	35				-1380		Seca	Montañita El Tigrillo	
59+750	36				-1510		Seca	Antenas Santuario	
61+650	37				-1820		Seca	Olón	
61+750	38				-1630		Seca	Rectificador Olón	Cambio de borneras

REALIZADO POR: ING. PAMELA LAMÁN A.
FECHA DE ELAB.: 12 DE DICIEMBRE DEL 2011

REVISADO POR: ING. JIMMY GONZÁLEZ
COORDINADOR SENIOR DE INTEGRIDAD Y CONFIABILIDAD



EP
PETROECUADOR
GERENCIA DE TRANSPORTE
Y ALMACENAMIENTO

www.eppetroecuador.ec

	REPORTE LECTURA POTENCIALES DE PROTECCIÓN CATÓDICA	Código:	H01.02.03-PR-292-FO-02
		Fecha:	12/12/2011
		Versión:	1

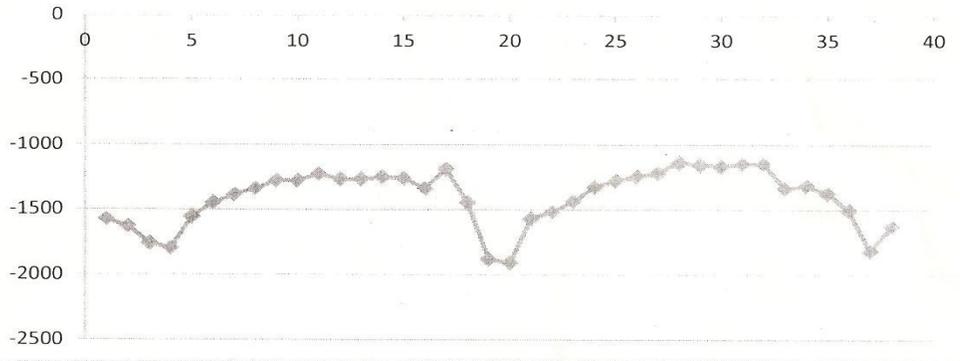
DUCTO: LIBERTAD-MANTA
FECHA: 12 DE DICIEMBRE DEL 2011

PUNTO KILOMÉTRICO	COORDENADAS UTM		POTENCIAL (mV)			Resistividad Terreno (Ohm- cm)	CONDICION CLIMATICA	REFERENCIA GEOGRÁFICA	OBSERVACIONES
	X	Y	OFF	ON	DIFERENCIA ON-OFF				
63+750	39				-1490		Seca	Hacienda Oloncito	
65+750	40				-1260		Seca	San Jose	
68+000	41				-1120		Seca	Las Nuñez	
70+900	42				-1080		Seca	La Entrada-Antena CENETEL	
71+700	43				-1060		Seca	La Entrada-Antena Porta	
73+250	44				-950		Seca	La Rinconada-Pueblo	
73+850	45				-940		Seca	La Rinconada-Trocha	
75+650	46				-890		Seca	Atamari	
78+500	47				-940		Seca	Río Ayampe	
80+350	48				-960		Seca	Pto. Rico	
82+550	49				-1080		Seca	Pto. Rico	Reparar cajetin
84+500	50				-1140		Seca	Pueblo Nuevo	
88+600	51				-1340		Seca	Salango	
91+000	52				-1490		Seca	Pto. López	
93+700	53				-1750		Seca	Rectificador Pto. López	
94+450	54				-1680		Seca	Lomas Pto. López	
96+450	55				-1580		Seca	Parque Machalilla	
98+450	56				-1460		Seca	Parque Machalilla	
100+250	57				-1430		Seca	Aguas Blancas	
102+550	58				-1340		Seca	Aguas Blancas	
104+600	59				-1320		Seca	Aguas Blancas	
106+300	60				-1280		Seca	Machalilla-parque iglesia	
110+800	61				-1190		Seca	Machalilla-montaña	
112+550	62				-1180		Seca	Pueblo Nuevo-paso elevado	
114+350	63				-1090		Seca	Entrada a pie por 113+750	
116+400	64				-1080		Seca	Entrada a pie por 113+750 Salaite	
120+000	65				-1010		Seca	Cruce de tubería	
122+240	66				-1030		Seca	Válvula del 122+100	
124+400	67				-1020		Seca	Pto. Cayo	
126+450	68				-1020		Seca	Pto. Cayo	
128+400	69				-620		Seca	Pto. Cayo	Reparar cables
130+400	70				-970		Seca	Paso aéreo	
131+700	71				-970		Seca	Los Bajos	
132+450	72				-970		Seca	Los Bajos	
134+520	73				-990		Seca	Los Bajos	
136+500	74				-1000		Seca	Los Bajos	
138+550	75				-990		Seca	Los Bajos	
140+500	76				-990		Seca	Válvula Las Pampas	
142+520	77				-270		Seca	Trocha los bajos	Reparar cables, corriente parásita
144+550	78				-1030		Seca	Trocha los bajos	

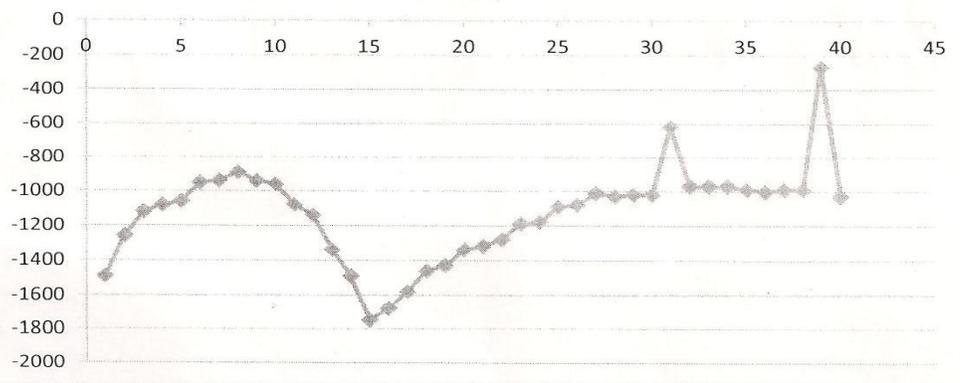
REALIZADO POR: ING. PAMELA LAMÁN A.
FECHA DE ELAB.: 12 DE DICIEMBRE DEL 2011

REVISADO POR: ING. JIMMY GONZÁLEZ
COORDINADOR SENIOR DE INTEGRIDAD Y CONFIABILIDAD

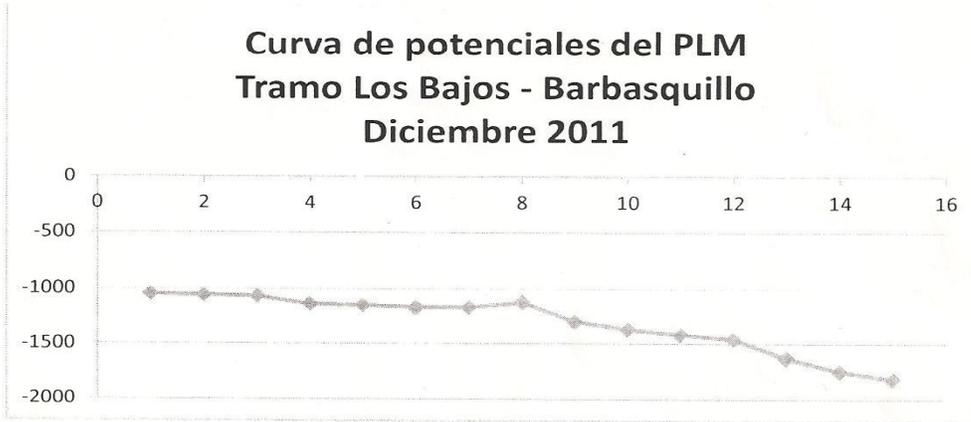
Curva de Potenciales del PLM
Sector Ballenita-Olón
Diciembre 2011



Curva de Potenciales del PLM
Sector Olón-Pto López-Machalilla-Pto Cayo
Diciembre 2011



**Curva de potenciales del PLM
Tramo Los Bajos - Barbasquillo
Diciembre 2011**



Conclusiones y Recomendaciones

- Se detectó el robo del cajetín y señalizador en el PK 17+850. Los cables si registran potencial, por lo que se requiere la instalación de un nuevo cajetín.



- Se requiere cambiar los cables del PK 128+400 y del PK 142+520 y realizar soldadura Cadweld a los mismos.
- Se requiere realizar el cambio de cajetín en los PK 10+100 y 53+400.
- Se requiere realizar la instalación de cajetín a la salida del rectificador en el Terminal Barbasquillo-Manta.
- El sistema de protección catódica encuentra operando y se verifica la protección catódica del poliducto al momento del recorrido.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Pamela'.

Ing. Pamela Lamán Anchundia
Rol: 55030

	
INGRESADO	
DIRECCION REGIONAL DE HIDROCARBUROS PENINSULA	
No. DE TRÁMITE:	
FECHA: 24-12-11	HORA: 14:14
ANEXOS:	
RECIBIDO POR:	

BIBLIOGRAFÍA

- PEABODY A. W., 2002 Control of Pipeline Corrosion, Second Edition
- Marquéz, P., 2004, “Curso de Protección Catódica”, primera edición, editorial
- Unidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Quito, Ecuador, pp. 62–70.
- Cathodic Protection Tester Course Manual.
- REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA, U.T.A. (CHILE), VOL. 12 N°2, 2004, pp. 43-56
- PEMEX subcomité técnico de normalización PGPB protección de tuberías de acero inoxidable 16 de diciembre del 2001.
- Handbook of Corrosión Engineer Pierre R. Roberge Copyright © 2000 by The McGraw-Hill Companies, Inc.
- National Association of Corrosion Engineers (NACE), 2003, “Manual
- Protección Catódica Nivel 2”, editorial NACE Internacional, Houston, USA pp. 2.78-2.80.
- Wranglen, G., 1985, “An Introduction to Corrosion and Protection of Metals”;
- Editorial Chapman and Hall, Londres, Inglaterra, pp. 95-132.
- Pipeline cathodic protection system 2745-1-sp–20070
- PEMEX diseño, instalación y mantenimiento de los sistemas de protección catódica nrf-047-pemex-2002 de fecha 26 de agosto de 2002
- ASM Metals Handbook, Volumen 13: Corrosion, 9th Edition