

T
620.11223
VALS.



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de
la Producción



“Sistema de Protección Catódica para
el Oleoducto Submarino en el Terminal
Marítimo de la Refinería Esmeraldas”

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

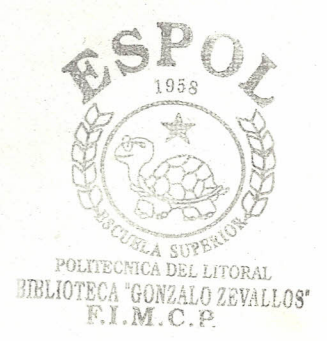
INGENIERO MECANICO

Presentada por:

EDUARDO ALBERTO VALDERRAMA RUIZ



Año - 1999
Guayaquil - Ecuador



DEDICATORIA



A DIOS, por la gran familia que me ha dado.

A MIS PADRES, por sus consejos y apoyo en todo momento.

A MI ESPOSA E HIJAS, por su comprensión, sacrificio y por ser mi fuente de inspiración.

A MIS HERMANOS Y SOBRINOS.

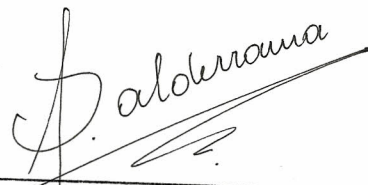
AGRADECIMIENTO

A mi amigo y Director de Tesis ING.
JULIAN PEÑA, por su colaboración,
dedicación y consejos que supieron
llevar a feliz termino este proyecto
de Investigación.

DECLARACIÓN EXPRESA

" La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el Patrimonio intelectual de la misma a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)




EDUARDO ALBERTO VALDERRAMA RUÍZ

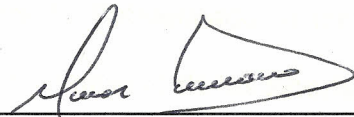
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



**Ing. Mario Patiño
SUB DECANO DE LA FIMCP**



**Ing. Julián Peña E.
DIRECTOR DE TESIS**



**Ing. Omar Serrano V.
VOCAL**



**Ing. José Pacheco M.
VOCAL**

RESUMEN



Como funcionario de la Refinería de Esmeraldas y como esmeraldeño que soy me he visto en la necesidad de desarrollar una investigación que ayude a prevenir lamentables hechos como los acontecidos en Febrero de 1998 que cobraron la vida de 18 personas entre niños y adultos, cuando el Oleoducto Transecuatoriano se rompió provocando un incendio y daños ecológicos.

El tema de nuestro estudio está encaminado a evitar desastres similares o de mayores dimensiones. El impacto que tendría un derrame de gran magnitud en el Ecosistema de la ciudad de Esmeraldas sería irreversible.

Con el desarrollo de esta investigación, nos proponemos concientizar a las Autoridades de Petroecuador a tomar medidas de protección que precautelen el normal funcionamiento de las tuberías submarinas del Oleoducto Transecuatoriano.

La investigación desarrollada consiste básicamente en un estudio del agua de mar en donde se encuentran las tuberías, cálculos acerca del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa, un Plan de Contingencia que en caso de ocurrir un desastre será de mucha ayuda para poder controlarlo, además existe un análisis económico que nos indica el costo de la implementación del Sistema de Protección Catódica versus las pérdidas que ocasiona la no exportación de petróleo.



POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

INDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|-------------|---|
| Figura 1.1 | Vista panorámica del Oleoducto desde Lago Agrio hasta Balao..... 13 |
| Figura 1.2 | Oleoducto Transecuatoriano (Playa Balao)..... 15 |
| Figura 1.3 | Tuberías de 36" y 42" del S.O.T.E..... 19 |
| Figura 1.4 | Bombas Gaso "A" Y "B"..... 32 |
| Figura 1.5 | Válvulas (Manifold de Playa)..... 35 |
| Figura 2.1 | Corrosión Galvánica..... 55 |
| Figura 2.2 | Muestra de una forma de Corrosión Erosión..... 58 |
| Figura 2.3 | Corrosión por Picadura..... 61 |
| Figura 2.4 | Diagrama de Concentración de Oxígeno..... 63 |
| Figura 2.5 | Tipos de Corrosión en Agua de Mar..... 64 |
| Figura 2.6 | Toma de Resistividad del Agua de Mar en playa Balao..... 70 |
| Figura 2.7 | Diagrama pH Potencial para el Acero..... 79 |
| Figura 2.8 | Diagrama pH Potencial para el Aluminio..... 82 |
| Figura 2.9 | Toma de Potenciales de Corrosión en las Tuberías..... 85 |
| Figura 3.1 | Esquema de Colocación de Anodos..... 92 |
| Figura 3.2 | Esquema de Anodos en la Arena..... 112 |
| Figura 3.3 | Cantidad de Anodos vs. Resistividad del Terreno..... 114 |
| Figura 3.4 | Fuente de Energía..... 116 |
| Figura 3.5 | Anodo de Grafito..... 118 |
| Figura 3.6 | Electrodo de Referencia..... 119 |
| Figura 3.7 | Cable HMWPE 2/0..... 120 |
| Figura 3.8 | Kits de aislamiento en junta de cables eléctricos..... 121 |
| Figura 3.9 | Pernos ranurados para cable 2/0..... 122 |
| Figura 3.10 | Soldadura Cadwell Tipo CAHA..... 123 |
| Figura 3.11 | Transformador – Rectificador..... 124 |

INDICE DE TABLAS

| | | Pág. |
|-------------|---|------|
| Tabla I | Yacimientos de Petróleo en el Ecuador..... | 9 |
| Tabla II | Inventario de tuberías Submarinas | 19 |
| Tabla III | Características de las bombas GASO "A" y "B"..... | 30 |
| Tabla IV | Serie galvánica de metales seleccionados en agua de mar..... | 56 |
| Tabla V | Resistividades eléctricas del agua de mar..... | 71 |
| Tabla VI | Análisis Químico (pH del agua de mar)..... | 73 |
| Tabla VII | Resultados del análisis químico (pH del agua de mar)..... | 73 |
| Tabla VIII | Análisis Químico (Cloruros del agua de mar)..... | 75 |
| Tabla IX | Resultados del análisis químico (Cloruros del agua de mar)..... | 75 |
| Tabla X | Significado de las medidas de potencial con respecto a diferentes electrodos de referencia y equivalencia entre ellos..... | 84 |
| Tabla XI | Equivalencia aproximada entre electrodos de referencia..... | 86 |
| Tabla XII | Resultados de toma de potenciales de corrosión..... | 88 |
| Tabla XIII | Especificaciones Técnicas de las tuberías..... | 97 |
| Tabla XIV | Densidades de corriente de protección en diversas aguas de mar para acero desnudo..... | 99 |
| Tabla XV | Dimensiones y pesos de los ánodos de grafito..... | 106 |
| Tabla XVI | Parámetros de Diseño..... | 116 |
| Tabla XVII | Composición Química del ánodo de Grafito..... | 117 |
| Tabla XVIII | Especificaciones Técnicas del Electrodo de Referencia..... | 119 |
| Tabla XIX | Especificaciones técnicas del Cable 2/0..... | 120 |
| Tabla XX | Especificaciones técnicas del Transformador..... | 124 |
| Tabla XXI | Inventario de materiales y equipos a utilizar..... | 125 |
| Tabla XXII | Detalle de costos de la implementación del Sist. De Protección Catódica..... | 132 |
| Tabla XXIII | Exportación de Crudo Oriente a través del sistema de tuberías del TEPRE..... | 135 |
| Tabla XXIV | Cálculo de pérdidas por no exportación de petróleo..... | 136 |
| Tabla XXV | Formulario de Inspección del Rectificador..... | 141 |

INDICE DE TABLAS

| | | Pág. |
|-------------|---|------|
| Tabla I | Yacimientos de Petróleo en el Ecuador..... | 9 |
| Tabla II | Inventario de tuberías Submarinas | 19 |
| Tabla III | Características de las bombas GASO "A" y "B"..... | 30 |
| Tabla IV | Serie galvánica de metales seleccionados en agua de mar..... | 56 |
| Tabla V | Resistividades eléctricas del agua de mar..... | 71 |
| Tabla VI | Análisis Químico (pH del agua de mar)..... | 73 |
| Tabla VII | Resultados del análisis químico (pH del agua de mar)..... | 73 |
| Tabla VIII | Análisis Químico (Cloruros del agua de mar)..... | 75 |
| Tabla IX | Resultados del análisis químico (Cloruros del agua de mar)..... | 75 |
| Tabla X | Significado de las medidas de potencial con respecto a diferentes electrodos de referencia y equivalencia entre ellos..... | 84 |
| Tabla XI | Equivalencia aproximada entre electrodos de referencia..... | 86 |
| Tabla XII | Resultados de toma de potenciales de corrosión..... | 88 |
| Tabla XIII | Especificaciones Técnicas de las tuberías..... | 97 |
| Tabla XIV | Densidades de corriente de protección en diversas aguas de mar para acero desnudo..... | 99 |
| Tabla XV | Dimensiones y pesos de los ánodos de grafito..... | 106 |
| Tabla XVI | Parámetros de Diseño..... | 116 |
| Tabla XVII | Composición Química del ánodo de Grafito..... | 117 |
| Tabla XVIII | Especificaciones Técnicas del Electrodo de Referencia..... | 119 |
| Tabla XIX | Especificaciones técnicas del Cable 2/0..... | 120 |
| Tabla XX | Especificaciones técnicas del Transformador..... | 124 |
| Tabla XXI | Inventario de materiales y equipos a utilizar..... | 125 |
| Tabla XXII | Detalle de costos de la implementación del Sist. De Protección Catódica..... | 132 |
| Tabla XXIII | Exportación de Crudo Oriente a través del sistema de tuberías del TEPRE..... | 135 |
| Tabla XXIV | Cálculo de pérdidas por no exportación de petróleo..... | 136 |
| Tabla XXV | Formulario de Inspección del Rectificador..... | 141 |

NOMENCLATURA

| | |
|----------------------|---|
| NACE | Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión. |
| A | Amperios. |
| ASTM | American Society for Testing and Materials. |
| H ₂ O | Agua. |
| CINa | Cloruro de sodio. |
| cm ² | Centímetro cuadrado. |
| I | Corriente de corrosión. |
| i _{prot} | Corriente de protección. |
| I _{TR} | Corriente del Transformador. |
| Dc | Densidad de corriente. |
| Dmin | Desgaste Mínimo. |
| Dmed | Desgaste Medio. |
| Dmax | Desgaste Máximo. |
| SCE | Electrodos de calomelanos-saturados. |
| Cu/CuSO ₄ | Electrodo de cobre-sulfato de cobre. |
| e ⁻ | Electrón. |
| Ag/AgCl | Electrodo de plata-cloruro de plata. |
| °C | Grados centígrados. |
| gr | Gramo. |
| H ₂ | Hidrógeno. |
| Cl ⁻ | Ión cloruro. |
| Fe ⁺⁺ | Ión hierro. |
| H ⁺ | Ión Hidrógeno |
| M | Metro |
| mA | Miliamperio. |
| mA/m ² | Miliamperio por metro cuadrado. |
| mg | Miligramo. |
| ml | Mililitro. |
| mm | Milímetro. |
| ohm-cm | Ohmio-centímetro. |

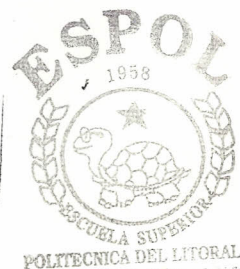
| | |
|-------------------|-------------------------------------|
| ohm | Ohmio. |
| O ₂ | Oxígeno. |
| E _{corr} | Potencial de corrosión. |
| HMWPE | Polietileno de Alto Peso Molecular. |
| pH | Potencial de Hidrógeno. |
| ρ | Resistividad eléctrica. |
| R | Resistividad eléctrica. |
| V | Voltio. |
| V _{TR} | Voltage del Transformador |



INDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|-----------|
| INDICE GENERAL..... | II |
| RESUMEN..... | III |
| INDICE DE FIGURAS..... | V |
| INDICE DE TABLAS..... | VI |
| NOMENCLATURA..... | IV |
| INTRODUCCION..... | 1 |
| | |
| I. PRODUCCIÓN PETROLERA EN EL ECUADOR..... | 3 |
| 1.1. Reseña Histórica..... | 4 |
| 1.2. Construcción del Oleoducto..... | 18 |
| 1.3. Sistema Operativo del Bombeo de Petróleo..... | 29 |
| 1.4. Responsabilidades Actuales..... | 36 |
| 1.5. Plan de Contingencia..... | 40 |
| 1.5.1. Identificación de Factores que ocasionan posibles | |
| daños a las Líneas Submarinas..... | 42 |
| 1.5.2. Plan de Acción para Control de Derrames en el | |
| Area Marítima..... | 46 |

| | |
|---|------------|
| 2. ASPECTOS IMPORTANTES DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA DEL OLEODUCTO SUBMARINO EN EL TEPRE..... | 52 |
| 2.1. Formas Probables de Corrosión en Agua de Mar..... | 53 |
| 2.2. Reporte de Daños Ocurridos..... | 65 |
| 2.3. Determinación de la Agresividad del Agua de Mar..... | 68 |
| 2.3.1. Resistividad Eléctrica..... | 68 |
| 2.3.2. pH del Agua de Mar..... | 71 |
| 2.3.3. Contenido de Cloruros..... | 74 |
| 2.4. Diagrama de Pourbaix del Acero..... | 76 |
| 2.5. Determinación de Potenciales Eléctricos en Líneas Submarinas..... | 82 |
| | |
| 3. DISEÑO DEL SISTEMA CATÓDICO PROPUESTO..... | 90 |
| 3.1. Especificaciones Técnicas de las Tuberías Submarinas a ser Protegidas..... | 96 |
| 3.2. Requerimientos de Corrientes a Suministrar..... | 98 |
| 3.3. Determinación de Masa Anódica | 102 |
| 3.4. Distribución de Lechos Anódicos..... | 105 |
| 3.5. Requerimientos de Voltaje..... | 109 |
| 3.6. Materiales a Utilizar..... | 117 |
| | |
| 4. EVALUACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO..... | 126 |
| 4.1. Análisis Técnico para Implementación del Sistema..... | 127 |
| 4.2. Factibilidad Económica..... | 131 |



| | |
|--|-----|
| 4.3. Estado de Pérdidas..... | 133 |
| 4.4. Inspección y Mantenimiento del Sistema..... | 136 |

| | |
|--|-----|
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 144 |
|--|-----|

ANEXOS

ANEXO A1 : Vista Superior del Sistema de Protección Catódica y Tuberías Submarinas.

DETALLE A : Vista en conjunto del S.P.C.

DETALLE B : Encapsulación Epóxica.

DETALLE C : Anodo de Grafito.

DETALLE D : Caseta del Transformador-Rectificador.

DETALLE E : Unión Cadweld de Soldadura.

ANEXO A2 : Vista de Perfil del Sistema de Protección Catódica.

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

Desde los principios de la humanidad cuando el hombre comenzó a utilizar los minerales extraídos de la naturaleza para la fabricación de metales, la corrosión ha sido la causa más importante para el deterioro de estos materiales.

En los actuales momentos, ya existen sistemas de protección catódica que nos ayudan a controlar los procesos de la corrosión.

En Esmeraldas y muy especialmente en el Terminal Marítimo de Balao, existen tuberías submarinas pertenecientes al Oleoducto Transecuatoriano que se encuentran sin protección catódica alguna, he aquí el interés de mi parte por contribuir con un estudio que permita despertar la atención de las autoridades competentes hacia lo que pudiera ser el peor desastre ecológico de la costa del Pacífico Sur.

Cabe indicar, que dichas tuberías que se encuentran sin protección catódica hace ya un par de años, transportan diariamente miles de barriles de petróleo, por lo que se hace necesario e imperioso el diseño de un Sistema de Protección Catódica por Corrientes Impresas que nos permita de esta manera salvaguardar la flora y fauna de la zona y así mismo evitarle al Estado Ecuatoriano pérdidas económicas por la no exportación de petróleo.

Se investigará las posibles causas que podrán dar lugar a un colapso de las tuberías, así mismo se dejará planteado un Plan de Contingencia como guía de lo que se debe de hacer en una emergencia.





CAPITULO 1

PRODUCCIÓN PETROLERA EN EL ECUADOR

Capítulo 1



1. PRODUCCIÓN PETROLERA EN EL ECUADOR

1.1 Reseña Histórica

El Petróleo ha marcado en forma decisiva la historia económica del Ecuador al menos durante las tres últimas décadas. Su descubrimiento en la Amazonía, en 1967 y su comercialización desde 1972, son dos hitos fundamentales que han transformado la economía nacional, a la vez que han convertido a este recurso natural, en la principal fuente de ingresos para el país.

Para hablar del petróleo en nuestro país, es necesario revisar sus antecedentes históricos.

A mediados del siglo XIX ya se conocen datos más concretos sobre la existencia de petróleo en nuestro país, cuando el geógrafo ecuatoriano, Manuel Villavicencio, en 1858 en su " Geografía sobre el Ecuador " relata que en la región Amazónica se podía apreciar la presencia de "asfalto y alquitrán en el río Hollín y en los manantiales salitrosos de la Cordillera de Cutucú".

El 13 de Mayo de 1878, la Asamblea Nacional reunida en Ambato decreta la concesión de derechos a favor del Señor M.G. Mier y Cía "para que pueda extraer de los terrenos comprendidos en la jurisdicción de la parroquia Sta. Elena, toda especie de sustancias vituminosas que en ellos se encuentran como petróleo, brea y kerosene".

En 1886, el Congreso de la República que expidió el primer Código de Minería del Ecuador, declara la propiedad estatal sobre las minas pero reconoce el dominio particular sobre la superficie de terreno que las cubra.

En 1890, el Congreso reforma el Código de Minería, e introduce una enmienda que permite el arrendamiento de las mismas hasta por 50 años, disposición que la derogó el Congreso en 1901.

En 1920 el Congreso inicia el estudio de una ley especial de petróleo y la Standard Oil obtiene derechos de exploración en el Oriente.

En 1921, José Luís Tamayo expide la Ley sobre Yacimientos de Petróleo.

En 1948 la Shell devuelve parte de la concesión de 1937 manifestando que no hay petróleo. Se otorga una nueva concesión al Consorcio Standard Royal o Esso-Shell.

En 1952 el Presidente Galo Plaza manifiesta que "El Oriente es un mito", "El destino ha querido que no seamos un país petrolero sino agrícola".

En 1973, Federico Páez promulga la Ley de Petr6leos y se otorga una concesión a la Royal Dutch Shell a trav6s de una compa1a existente, la Anglo Saxon Petroleum. La concesión abarca 10 millones de Hect6reas a precio de 4 centavos de d6lar cada una.

En 1964 la Junta Militar de Gobierno otorga una concesión de 1'431.450 hect6reas al consorcio Norteamericano Texaco Gulf en el Nor-Oriente Ecuatoriano. La concesión tiene un plazo de 40 a1os prorrogables por 10 m6s.

En 1967 la Compa1a Anglo proclama que los yacimientos de Sta. Elena han entrado en per6odo de agotamiento, pues los dos mil pozos perforados y en explotaci3n producen un promedio de apenas 3 mil barriles diarios, haci6ndose imperiosa la b6squeda en el Oriente.

Tambi6n en 1967 el consorcio Texaco-Gulf anuncia el descubrimiento de reservas comerciales de petr6leo en la regi3n Nororiental. El primer pozo productivo es el de Lago Agrio # 1 que produjo la cantidad de 2.640 barriles diarios.

En 1968 el Presidente Otto Arosemena firma concesiones por aproximadamente 3'933.439 hect6reas a favor de siete empresas extranjeras.

También se anuncia la concesión a la Compañía ADA para la explotación en las aguas del Golfo de Guayaquil a nombre de seis ecuatorianos desconocidos quienes traspasaron sus derechos al Consorcio Norteamericano.

En 1970 el Consorcio Texaco-Gulf y Wilbros Ecuador firman el contrato para la construcción del Oleoducto Trans-Ecuatoriano.

En 1971 el Presidente Velasco Ibarra promulga la ley creando la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana "CEPE" y la Ley de Hidrocarburos.

El 16 de Agosto de 1971 se realiza desde Balao el primer embarque de petróleo. El 16 de Septiembre de 1971, Transnave y Karuasaki suscriben el convenio de creación de FLOPEC, Flota Petrolera Ecuatoriana que transportaría el 50% del petróleo.

En Diciembre del mismo año se anuncia la nulidad de los contratos de concesión con la Compañía ADA.

En Enero de 1973, la exportación de petróleo procedente del Oriente sobrepasa los 28 millones de barriles.

En julio de 1973 se inaugura el poliducto Durán-Quito que transporta gasolina especial y corriente.



En Enero 16 de 1976 la Compañía Anglo revierte al estado los equipos y maquinarias, herramientas y bienes. Se firman cuatro contratos para obras complementarias en los pozos Tivocuno # 3, Manabí # 1 y Shiripungo #1.

El 10 de Mayo de 1976 se adjudica la construcción de la planta de recuperación de gas Shushufindi al consorcio SAGTRAME.

En 1977 entra en funcionamiento la Refinería Estatal de Esmeraldas.

Como resultado de las exploraciones realizadas en el Ecuador se han encontrado los siguientes yacimientos [1] :

TABLA I

YACIMIENTOS PETROLEROS EN EL ECUADOR

| Región Oriental | Sta. Elena |
|------------------------|-------------------|
| Lago Agrio | San Joaquín |
| Sacha | Tigre |
| Shushufindi | Atlanta |
| Aguarico | Tablazo |
| Auca | Santa fe |
| Yuca | Santo Tomás |
| Zorro | Emporio |
| Bermejo | Cacique |
| Dureno | Concepción |
| Tivacuno | San Raimundo |
| Fanny | Manantial |
| Marian | Escothea |
| Atacapi | Carmela |
| Coca | Cautivo |
| Cononaco | Ahuqimi |
| Cuyabeno | Matilde Progreso |
| Charapa | Achallán |
| Paraguaco | Libertad |
| Pucuna | Concepción |
| Oglán | Certeza |
| Camino | Sta. Paula |
| Culebra | Las Conchas |
| Tanagy | Petrópolis |

MAR TERRITORIAL

Yacimiento Gasífero del Golfo de Guayaquil

Comercialización

Cuando se habla de comercialización es necesario diferenciar entre la comercialización interna y la externa.

Comercialización Interna del Petróleo

El 12 de junio de 1974, por primera vez en su historia, el país ingresaba en la fase de producción de combustible para su mercado interno. A partir de esa fecha, se efectivizó la participación de la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana "CEPE", en la producción de las refinerías de Anglo y Gulf ubicadas en Libertad, en un porcentaje proporcional a sus inversiones en la ampliación de las plantas.

La Refinería de Anglo aumentó su capacidad en 24 % y la Gulf en 12.5%. Consecuentemente CEPE se convirtió en propietaria de esos porcentajes en la producción diaria de estas dos plantas.

Comenzó esa fecha un largo y difícil proceso que, en el campo de la comercialización, llevaba al Estado Ecuatoriano al control total de esa actividad el primero de Enero de 1974 y en 1977 a la producción mayoritaria de derivados de petróleo este mismo año, con la inauguración de la Refinería de Esmeraldas.

Se cumplía así el mandato de la Ley de Hidrocarburos que asigna al Estado un papel protagónico en la industria petrolera.

Por primera vez adquiría vigencia en el país una tesis que había ganado ya conciencia de amplios sectores del escenario mundial, el petróleo y sus derivados constituyen un elemento estratégico para la seguridad nacional y vital para el desarrollo de los pueblos.

Comercialización de Productos

CEPE comercializaba gasolina, kerex, diesel y el total de asfaltos desde 1975. A partir de 1977 suspendió las importaciones de este producto, en razón de que la producción de la Refinería Estatal cubrió la demanda nacional.

A fines de 1977, la entidad estatal lanzó al mercado nacional aceites combustibles con su marca, en los que constituye el primer paso del proyecto de fabricación de esos productos con sus propias formulas.

En lo que se refiere a gas licuado de petróleo, de múltiples usos, CEPE, asumió su comercialización a partir de 1979 y desde entonces lo suministraba para la distribución a través de varias empresas privadas, habiendo reducido considerablemente las importaciones, como consecuencia de la creciente producción de la Refinería de Esmeraldas.



En efecto, la producción del país que en 1973 fue de 4.165 toneladas métricas, ascendió en 1978 a 54.209 toneladas métricas, volúmen que permitió abastecer las necesidades nacionales casi en su totalidad, tomando en cuenta que su demanda crece a un ritmo acelerado.

Igualmente CEPE tenía bajo su control el abastecimiento nacional de turbo fuel y gasolina de aviación. [1]

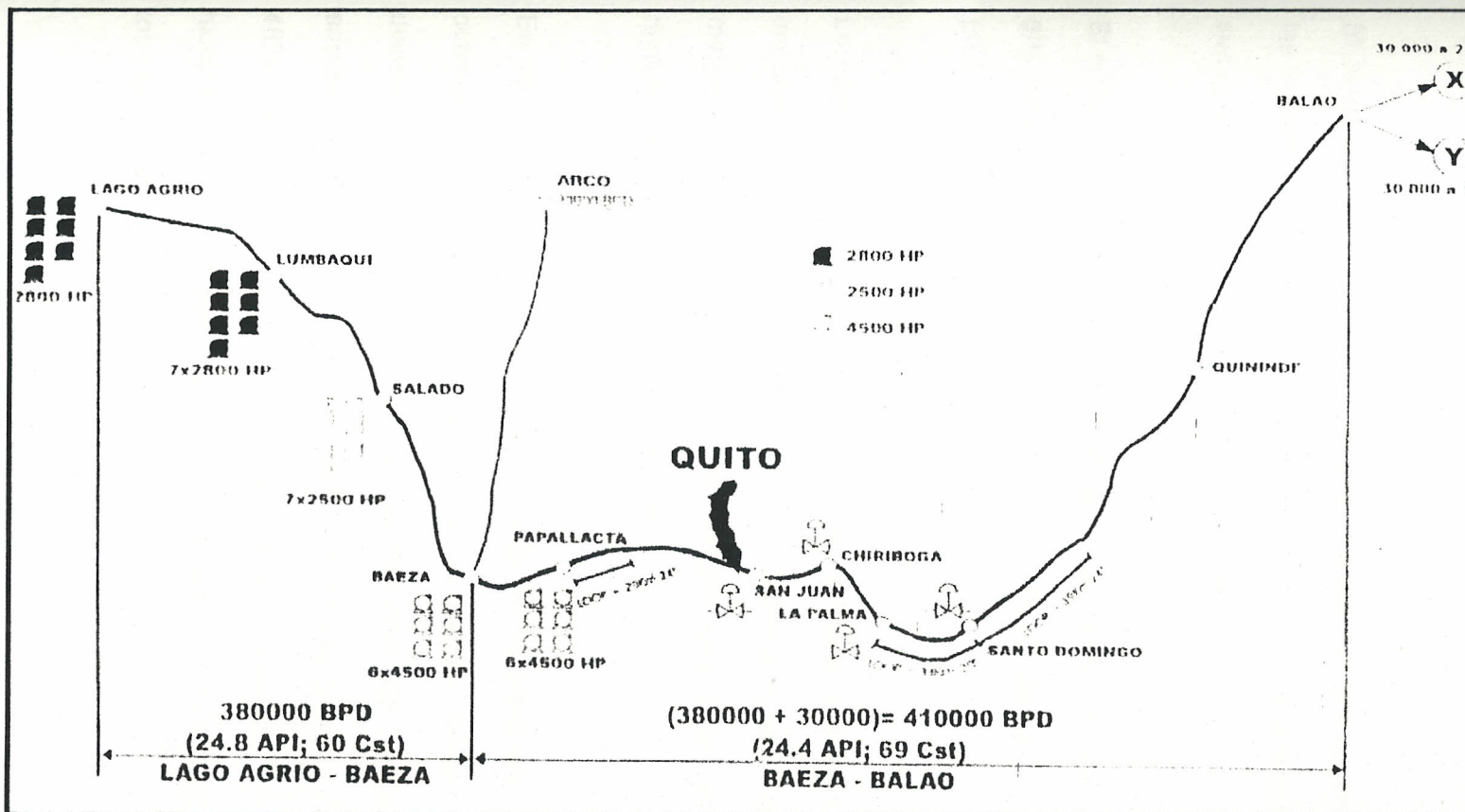


Figura 1.1 Vista panorámica del Oleoducto desde Lago Agrio hasta Balao.

Comercialización Externa del Petróleo

El desarrollo económico de los pueblos depende, en gran parte, del empleo de las fuentes de energía utilizadas para incrementar el rendimiento productivo de sus recursos humanos, naturales y tecnológicos.

El consumo mundial de energía, en 1970, fue de un 40% de petróleo, 20% de gas natural, un 33% de carbón y el 7% restante del uso de la electricidad primaria.

La suma de la energía originada en el petróleo y el gas nos indica la importancia que tienen los hidrocarburos. Si a ello le agregamos su valor como materia prima de la petroquímica, resulta que esta riqueza adquiere dimensiones de verdadera trascendencia.

En 1974, cuando se pensaba que después de las drásticas reducciones del consumo de petróleo impuesta desde los países industrializados iba a disminuir su importancia, según las estimaciones de los especialistas, nos encontramos con que la demanda de este producto para ese año aumento al 48% y la de gas en no menos del 22%, de tal manera que, actualmente los hidrocarburos constituyen la fuente generadora del 70% aproximadamente del total que necesita la humanidad.

A pesar del énfasis de los países industrializados por desarrollar otras fuentes substitutivas de energía, de acuerdo con las proyecciones, para el año 2000, los hidrocarburos no perderán la importancia que tienen en el mercado internacional. [1]

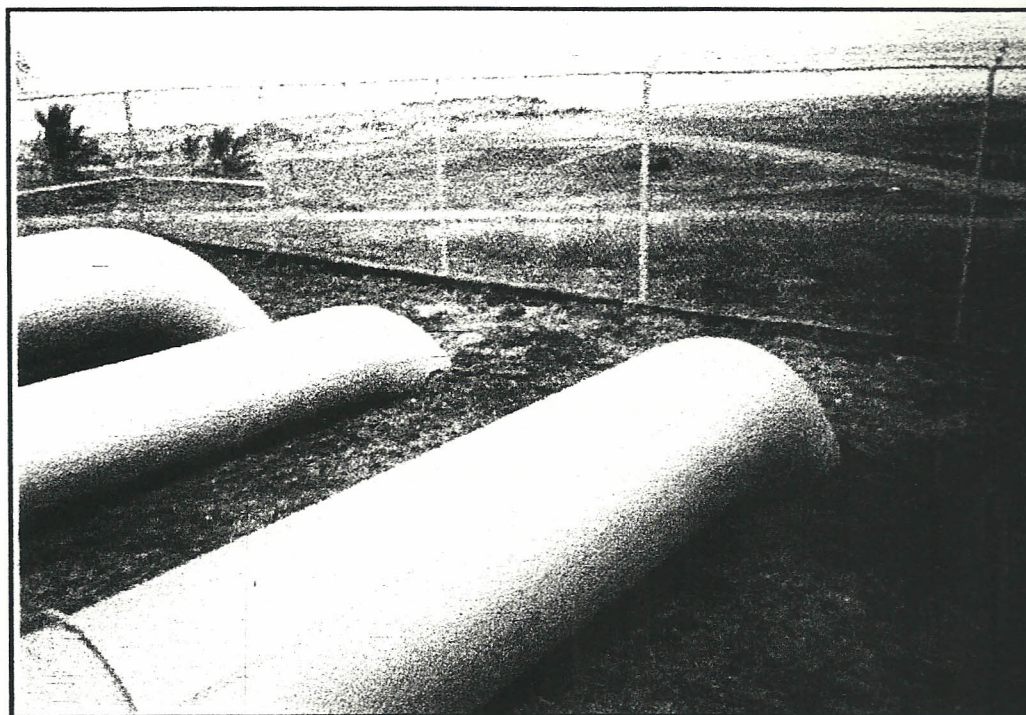
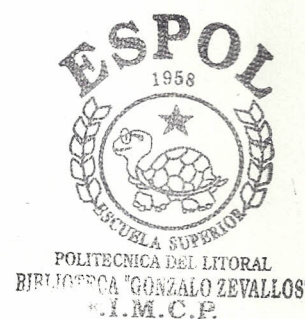


Figura 1.2 Oleoducto Transecuatoriano
(Playa Balao)

Exportación de Petróleo

El 17 de Agosto de 1972 se realizó desde el puerto petrolero de Balao la primera exportación de crudo en la denominada era petrolera. El volúmen fue de 308.283 barriles vendidos a 2.34 dólares por barril.



La empresa estatal petrolera inició sus exportaciones de crudo en 1973, cuando colocó en el mercado internacional el volúmen de las regalías que el estado percibía del Consorcio Texaco-Gulf, que en ese entonces explotaba petróleo de la amazonía.

La actividad de comercialización se intensificó cuando el Estado Ecuatoriano adquirió el 25% de las acciones de dicho consorcio. Su incursión se realizó en condiciones difíciles, puesto que se percibía un ambiente de grandes presiones políticas y forcejeos mercantiles, donde imperaba la ley del más fuerte. Pero poco a poco la empresa petrolera estatal fue acumulando experiencia, para responder con decisión a este nuevo reto. Su participación temprana como socio de la OPEP le permitió solventar con entereza sus primeros problemas.

La actual política de comercialización externa de crudo se basa en los siguientes objetivos:

- Colocar el saldo exportable mediante contratos a largo plazo.
- Conseguir los mejores beneficios de sus transacciones.
- Diversificar geográficamente a sus clientes.
- Negociar con empresas de probada solvencia.
- Vincularse con compañías petroleras estatales.

Al concluir el tercer trimestre de 1995, el Ecuador vende en el mercado internacional 246 mil barriles diarios de petróleo, mediante 16 contratos de compraventa a largo plazo, de un año de duración, con posibilidades de renovación. [1]

El destino geográfico de las ventas es el siguiente:

| Sector Geográfico | Porcentaje Vendido |
|-----------------------------|---------------------------|
| América del Norte | 42% |
| Lejano Oriente | 25% |
| Sudamérica | 19% |
| América Central y el Caribe | 14% |

Importación de Derivados

Las refinerías del país abastecen los requerimientos de casi la totalidad de derivados que se consumen a nivel interno. En la actualidad, el Ecuador importa gas licuado de petróleo, debido a que la producción interna apenas abastece el 50% de una demanda que está en constante crecimiento.

También se importa diesel y gasolina de aviación. En ciertos periodos ha adquirido en el exterior gasolinas de 80, 84, y 92 octanos, diesel, crudo reconstituido, kerex, asfaltos y mezclas de productos.

De acuerdo con su función, Petroecuador debe importar los combustibles de los cuales el país es deficitario. Esta disposición ha variado desde Enero de 1995, al entrar en vigencia el Decreto 205, que permite la libre oferta y demanda de combustibles y posibilita su importación a las empresas comercializadoras privadas.

1.2 Construcción del Oleoducto

Introducción:

El sistema general del Oleoducto y las tuberías del Terminal Marítimo de Balao fue construida por la empresa Harbert Distral de Panamá, en 1972, para transportar 250.000 barriles de petróleo por día en un principio.

En 1985 la capacidad original de transporte fue ampliada a 300.000 barriles por día, con la instalación de una unidad de bombeo adicional por estación; luego en 1991 se instala una sexta unidad en todas las estaciones con lo cual la capacidad actual del S.O.T.E. es de 325.000 barriles por día.

El Oleoducto Trans-Ecuatoriano se inicia en el manifold de válvulas de los tanques de 250.000 barriles de la estación de bombeo de origen o cabecera en Lago Agrio (Oriente Ecuatoriano) y termina en las bridas de conexión a los buques-tanques de las monoboyas "X" y "Y" del Terminal Marítimo de Balao.

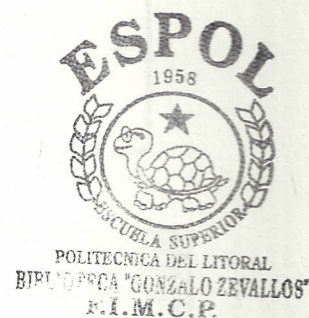


TABLA N° II

INVENTARIO DE TUBERÍAS SUBMARINAS

| Diámetro | Longitud | Producto |
|----------|----------|----------|
| 42" | 4000 m | Petróleo |
| 36" | 4000 m | Petróleo |

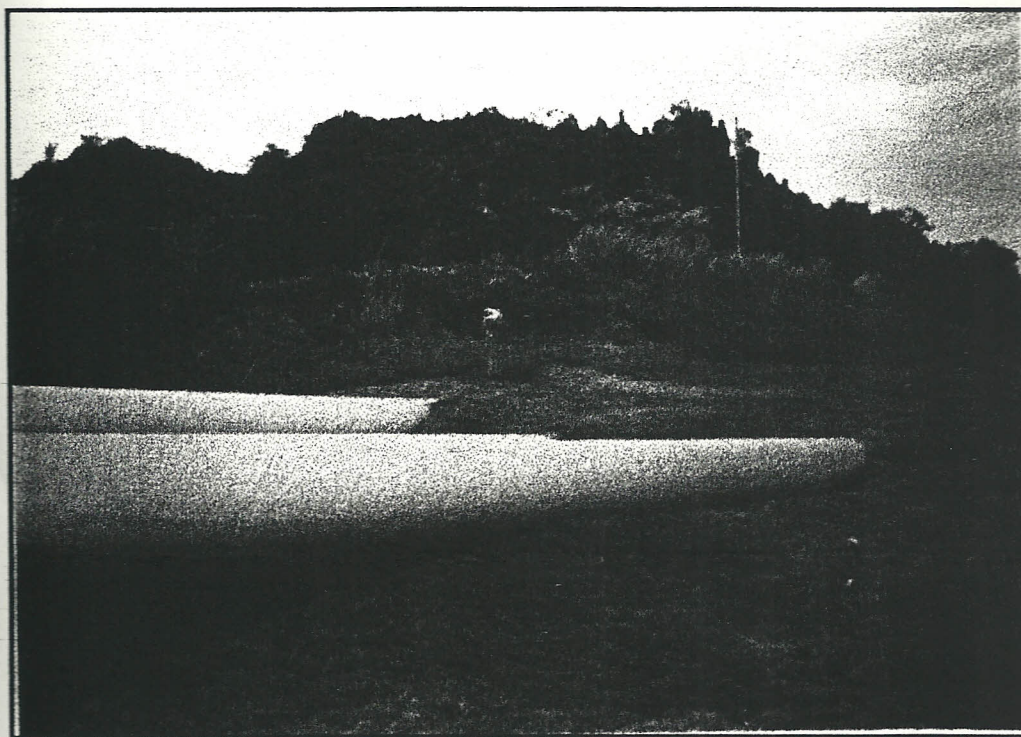


Figura N° 1.3 Tuberías de 36" y 42" del S.O.T.E.

Requerimiento General

- La compañía constructora efectuó todos los trabajos de ingeniería necesarios para la instalación y construcción de las tuberías marítimas.

Los análisis de ingeniería incluyeron:

- a. Análisis de tensión de la tubería al comienzo, durante el tendido normal, lanzamiento y localización. [2]
- b. Análisis de los esfuerzos de lanzamiento para demostrar que las cargas transmitidas a los winches, poleas, y cables se encuentran dentro de los límites de dichos equipos.
- c. Cálculos completos para demostrar que el cabezal de tiro (two-sled) es suficiente para las cargas impuestas durante la construcción.

Especificaciones para Instalación de las Tuberías

Generalidades:

Estas especificaciones incluyen los materiales, equipo y mano de obra necesarios para la colocación de tuberías formadas con sus juntas,

conexiones, válvulas, piezas especiales, accesorios de fijación, juntas de expansión, etc.; todo de acuerdo con Los requerimientos.

Fabricación e Instalación

La tubería se instaló exactamente de acuerdo con los requerimientos exigidos por la entonces CEPE.

Toda la tubería fue limpiada a fondo tanto dentro como fuera, y se dejó completamente libre de suciedad y grasa. Se eliminaron las rebabas de la soldadura del interior de la tubería, dejando las superficies lisas.

Toda la tubería fabricada no sumergida fue montada en su lugar mediante cuñas, sus válvulas y accesorios correctamente alineados de modo que cuando se unieran las bridas no hayan esfuerzos excesivos en los tramos que impidieran una unión perfecta y ocasionando deformaciones en la tubería.

Las secciones de tuberías que en el diseño van juntas, fueron perfectamente alineadas usando grapas de alineación y control de cordel, antes que la soldadura principal comience.

Los accesorios para alivio de presión fueron inspeccionados y probados por CEPE antes de su instalación.

Todas las tuberías tienen provisiones para el acceso, desmontaje y reposición de válvulas, instrumentos y equipos.

Se instalaron soportes permanentes de acero o concreto en lugares necesarios para el sostenimiento y anclaje.

La tubería sumergida se colocó a la profundidad especificada. Se mantendrán las pendientes indicadas en los planos, para permitir un desagüe apropiado.

Todas las conexiones de bridas se ajustaron con espárragos y tuercas hexagonales. No se usaron pernos. Todas las roscas están lubricadas con Threadcote 701, o un compuesto similar.

Conexiones a Bombas

Las tuberías fueron soportadas y colocadas de manera de no accionar esfuerzos excesivos a las bombas y equipos de medición.

Las tuberías de succión y descarga para cada bomba, se instalaron comenzando por el extremo más alejado de la bomba y trabajando hacia éste y nunca en sentido contrario.

Las piezas de succión y descarga coincidieron exactamente con las bridas de las bombas. Las empaquetadoras y espárragos se colocaron posteriormente.

Todas las bombas fueron protegidas por un filtro temporal de malla metálica, de forma cónica, insertada entre las bridas de la succión en el momento en que se instaló la bomba a la tubería. El filtro temporal se removió después de completarse la prueba de la tubería.

Inspección

Toda la tubería soldada o roscada fue examinada por el Ingeniero Inspector y la constructora para su aceptación. Toda la soldadura, fabricación e instalación estuvo de acuerdo con el "Código Americano de Normas para Tubería a Presión, ANSI/ASME B 31.4" "Liquid Petroleum Transportation Piping System".

Revestimiento o Encamisado de Tubería Metálica.

Especificaciones

Esta especificación cubren los requerimientos para el hormigón utilizado en el revestimiento de tubería metálica para transporte de productos del petróleo, sumergida en el fondo del mar. [7]



Referencia

| | |
|---------------|--|
| ASTM A 82 | Cold Drawn Steel Wire for Concrete Reinforcement |
| ASTM A 185 | Welded Steel fabric for concrete reinforcement |
| ASTM C 150 | Specification for portland cement (Method A) |
| ASTM C 40 | Standard method of test for organic impurities in sands for concrete |
| ASTM C 39 | Standard Test Method of compressive strength of cylindrical concrete specimen. |
| ASTM E 11 | Specification for liquid membrane-forming compounds for curing concrete. |
| NACE RP-02-74 | High voltage electrical inspection of pipeline coatings prior to instalation. |

Especificaciones de la Pintura utilizada en las Tubería Submarinas.

ASTM 123 Revestimiento de Zinc (galvanizado en caliente).

Estas especificaciones cubren los requisitos para la selección y aplicación de los sistemas de revestimiento a ser usados en el almacenamiento de productos de petróleo e instalaciones de bombeo, incluyendo acero estructural, tuberías.

Preparado de la Superficie

Todas las superficies pintadas se limpiaron previamente con chorro de arena.

El chorreado abrasivo fue al grado Sa 2 ½ bajo las normas SIS-055900; esta norma nos indica lo siguiente:

“El chorreado de las tuberías de acero se lo realiza a una presión comprimida entre 6 a 7 atmósferas y volúmenes de aire entre 2 a 10 m³. Además las superficies no se limpian en presencia de lluvia, viento, neblina, o cuando las superficies estaban húmedas o pudieran humedecerse antes de la aplicación de la imprimación”.

Todo el aceite, grasas, polvo o materia extraña depositada sobre la superficie, después de la preparación de la misma, se removió antes de aplicarse la pintura. En caso que hubiera herrumbre después de terminar de preparar la superficie, éstas hubieran sido limpiadas nuevamente de acuerdo con el método especificado.

Preparación antes del Limpiado

Todas las protuberancias de soldaduras, escorias, salpicados de soldadura, escorias y proyecciones con superficies puntiagudas se removieron antes del limpiado.

Cualquier superficie esmerilada después de la limpieza debió ser limpiada nuevamente con chorro de arena para obtener un patrón de rugosidad adecuado.

Toda la fabricación y perforación de agujeros para los pernos se hizo antes del limpiado con chorro de arena.

Los elementos que pueden dañarse con la limpieza con chorro de arena deben desmontarse o sacarse de acuerdo con la recomendación del fabricante.

Aplicación de la Pintura

Las superficies limpiadas con chorro de arena fueron recubiertas con una mano de imprimación tan pronto como fue posible, pero a más tardar el mismo día en que fueron limpiadas.

La pintura utilizada fue HEMPADUR 1513 que es una pintura de dos componentes de brea epóxica curada con poliamida, lo que proporciona una película dura, altamente resistente al agua de mar, etc.

El espesor según el propósito y el área del uso fue de 125-200 micras/5-8 mils.

Las superficies no fueron pintadas cuando la temperatura era menor de 5°F por encima del punto de rocío y cuando la temperatura ambiente era menor que 40° F, o cuando la humedad relativa era mayor que el 80%.

Cada mano de pintura aplicada, en lo posible debió ser de espesor uniforme y libre de burbujas, o de pintura escurrida. En el momento que hallaban este tipo de defectos, se debió remover la pintura y volver a pintar la superficie.

Cada mano debió dejarse que se seque o se cure el tiempo especificado por el fabricante, antes de la aplicación de la mano siguiente.

Aplicación con Brocha

- Las brochas eran del tipo y calidad que permitían una aplicación adecuada de la pintura. Las brochas redondas y ovaladas son apropiadas para pintar remaches, pernos, superficies irregulares y acero áspero o con picaduras. Las brochas anchas y planas son apropiadas para pintar áreas planas, pero no deben ser mayores de 5 pulgadas de ancho.
- Las pinceladas debían resultar en una mano suave, de espesor tan uniforme como sea posible obtener.
- La pintura se aplicó en todas las esquinas y cavidades.
- Debe de haber un mínimo de marcas de brocha en la pintura aplicada, y las marcas de pintura corrida o chorreada se deben eliminar retocando esas áreas.
- Se deben proveer reguladores de presión y manómetros adecuados tanto para el suministro de aire en el recipiente a presión como para el suministro de aire a la pistola del soplete. El soplete y las presiones de



operación deben cumplir con las recomendaciones del fabricante de pintura.

La presión del recipiente, de la manguera, y de la pistola del soplete deben ser mantenidas aproximadamente iguales. La superficie a pintar no debe estar más alta o más baja de los 3 metros medidos desde la cota del equipo de pintura.

La pistola de soplete debe mantenerse en ángulo recto con la superficie y cada pasada debe traslapar la pasada anterior en un 50%. Todos los escurrimientos o áreas chorreadas deben corregirse inmediatamente.

Inspección

Debió observarse estrictamente el cumplimiento de los espesores de película indicados para las capas de pintura. Los espesores de película deben determinarse con el medidor Mikrotest u otro instrumento similar. La integridad de la pintura aplicada usando un detector de fallas.

Todos los defectos se repararon de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

1.3 Sistema Operativo de Bombeo de Petróleo

Cabe señalar que las tuberías pertenecientes al SOTE (Sistema de Oleoducto Trans-Ecuatoriano) no utiliza bombas para desplazar el producto hacia los buques tanqueros, pues, la altura a la que se encuentran los tanques de almacenamiento (182 metros sobre el nivel del mar) permite transportar el producto simplemente por gravedad. (3)

Sin embargo en el área de control, entre las líneas de carga y los tanques 5001 y 5002 de residuos se encuentran las instalaciones de dos bombas de desplazamiento positivo, capaces de bombear 500 barriles por hora cada una; están instaladas de tal forma que puedan ser utilizadas en forma individual o simultánea, para bombear residuos a los tanqueros o hacia los tanques de almacenamiento por cualquiera de las dos líneas de carga. Estas bombas pueden también utilizarse para bombear agua al área de tanques a través de la línea de drenaje de 6" ya que están conectadas a la red de hidrantes del terminal o, drenar los tanques 5001 y 5002.

Para identificación de éstas bombas se las denomina "A" y "B", siendo "A" la que se encuentra al extremo izquierdo de las líneas de carga mirando hacia arriba y "B" la que se encuentra entre la bomba "A" y las líneas de carga.

TABLA N° III

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BOMBAS GASO
"A" Y "B".**

| | |
|--|---|
| Equipo | Bomba GASO para inyección a líneas. |
| Modelo | 4"X7-1/2"X10 |
| Número de Unidad Funcional | 401307 |
| Número de equipos existentes en el Terminal | 2 |
| Fabricante | TULSA OKLAHOMA, GASO P. IMC. |
| Descripción y Uso del equipo | Bomba alternativa para inyección a líneas de crudo N°1 Y N°2. Tanque de Slop/Alivio Tipo Duplex Caudal 500 barriles/h Potencia 40HP Velocidad 1170 RPM Norma:48 AMP; 60Hz; 460V |

Existen 23 válvulas de compuerta para la operación de éstas bombas, 21 de 6" y 2 de 4", sólo una de 6" tiene operador eléctrico y es la del tanque 5001, el resto son de operación manual, todas éstas válvulas están marcadas con números y las secuencia indicada para la operación debe seguirse cuidadosamente.

Para uso de la Bomba "A"

- a) Del tanque 5001 a la línea de 42" abrir válvulas números 1, 2, 7, 16 y 17.
- b) Del tanque 5001 a la líneas de 36" abrir válvulas números 1, 2, 7, 8, 14 y 18.
- c) Del tanque 5002 a la línea de 42 " abrir válvulas números 4, 5, 7, 8, 16 y 17.
- d) Del tanque 5002 a la línea de 36" abrir las válvulas números 4, 5, 7, 8, 14 Y 18.
- e) Del tanque 5001 a las piscinas abrir las válvulas números 1, 2, 7, 8, 2 y 21.
- f) Para bombear agua del sistema de hidrantes al área de tanques, prender bomba de agua y abrir válvulas 22,7,8,12 y 21 y cerrar válvula de 6" de bloqueo a las piscinas frente al generador del área de control.

Para uso de la Bomba "B"

- a) Del tanque 5001 a la línea de 42" abrir válvulas números 1, 3, 9, 10, 15 y 17.
- b) Del tanque 5001 a la línea de 36" abrir válvulas números 1, 3, 9, 10, 13 y 18.
- c) Del tanque 5002 a la línea de 42" abrir válvulas números 4, 6, 9, 10, 15 Y 17.

- d) Del tanque 5002 a la línea de 36" abrir válvulas números 4, 6, 9, 10,13 y 18.
- e) Del tanque 5001 a las piscinas abrir válvulas números 1, 3, 9, 10, 11 Y 21.
- f) Del 5002 a las piscinas abrir válvulas números 4, 6, 9, 10, 11 y 21.
- g) Para bombear agua del sistema de hidrantes al área de tanques, prender bomba de agua y abrir válvulas 22,5,6,10,11,21 y cerrar válvula 6" de bloqueo a las piscinas frente al generador del área de control.

Para uso simultáneo de las dos bombas, aplicar los literales indicados para el uso de cada una, al mismo tiempo. Para bombear agua al área de tanques se recomienda usar ambas bombas.

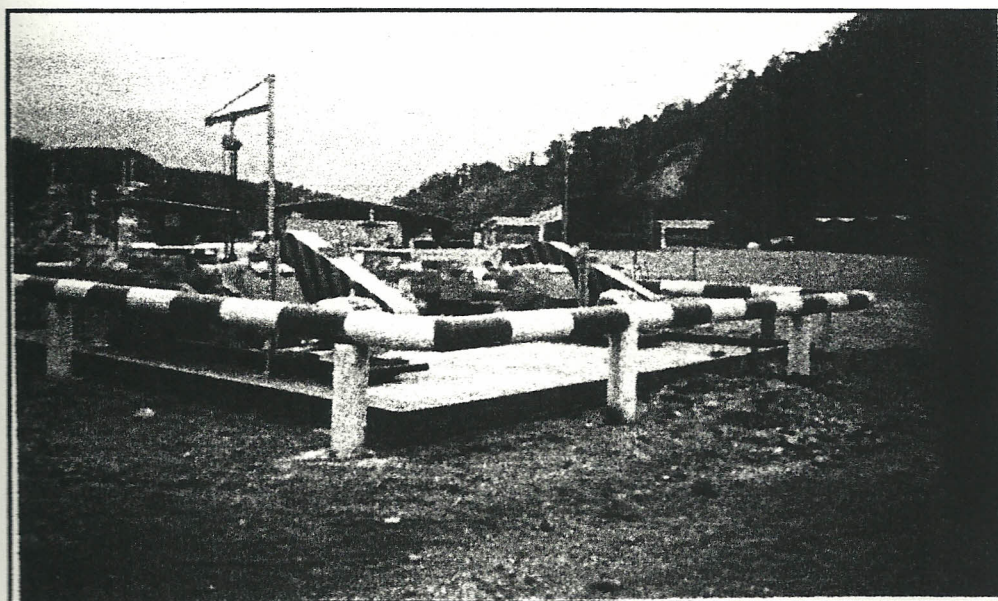


Figura 1.4 Bombas GASO "A y B"

Operación de Válvulas

Alineamiento de Válvulas para la carga de Producto a Buques Tanques.

A lo largo del área de tanques y hasta unos 200 metros más abajo, ambas líneas de carga son de 42", en este punto una de ellas se reduce a 36". Estas líneas se denominan: Línea de carga No. 1 de 42" a la boya "X" y la línea de carga No. 2 de 36" a la boya "Y". Desde los tanques hasta la playa hay 5 válvulas en cada una de las líneas que deben abrirse para cargar a los buques tanqueros, según la línea que se vaya a usar. (3)

En el tanque designado para cargar al buque tanquero, todas las válvulas deben estar cerradas a excepción de la válvula de la línea que se vaya a usar.

Válvula 1, de 6" de drenaje de agua del tanque, operada manualmente.

Válvula 2, de compuerta 24", W.K.M. – 150# R.F. con operador eléctrico, para llenado del tanque.

Válvula 3, de compuerta, M&J DE 42" – 150# R.F. con operador eléctrico del tanque a la línea de carga No. 1.

Válvula 4, de compuerta, M&J DE 42" – 150# R.F. con operador eléctrico, del tanque a la línea de carga No. 2.

En la Playa tenemos un Conjunto de 5 Válvulas:

Válvula 1 "X".- Válvulas de compuerta de 42" M&J 300 # ANSI R.F. con operador eléctrico, de bloqueo en la línea No. 1 de 42" para salida a la boya "X". (Normalmente cerrada), debe abrirse para entregar carga por esa línea a la boya "X".

Válvula 2 "Y".- Válvula de compuerta de 36" M&J 300 # ANSI R.F. con operador eléctrico, de bloqueo en la línea No. 2 de 36" para salida a la boya "Y". (Normalmente cerrada, debe abrirse para entregar carga por esa línea a la boya "Y").

Válvula 3 o de Lastre.- Válvula de compuerta de 26" M&J 300 # ANSI R.F. con operador eléctrico, de bloqueo de la línea de 30" de deslastre que va a las piscinas de tratamiento.

Válvula 4.- Válvula de compuerta de 16" W.K.M. 400 # con operador manual, de cruce de la línea de carga No.1 a la línea de deslastre (normalmente cerrada).

Válvula 5.- Válvula de compuerta de 16" W.K.M. 400 # con operador manual, de cruce de la línea de carga No. 2 a la línea de deslastre (normalmente cerrada).

Estas dos últimas están actualmente fuera de servicio bloqueadas con bridas ciegas, fueron diseñadas originalmente para situaciones de emergencia en caso de que fuera necesario descargar un tanquero o desplazar el petróleo de las líneas submarinas hacia las piscinas de lastre.

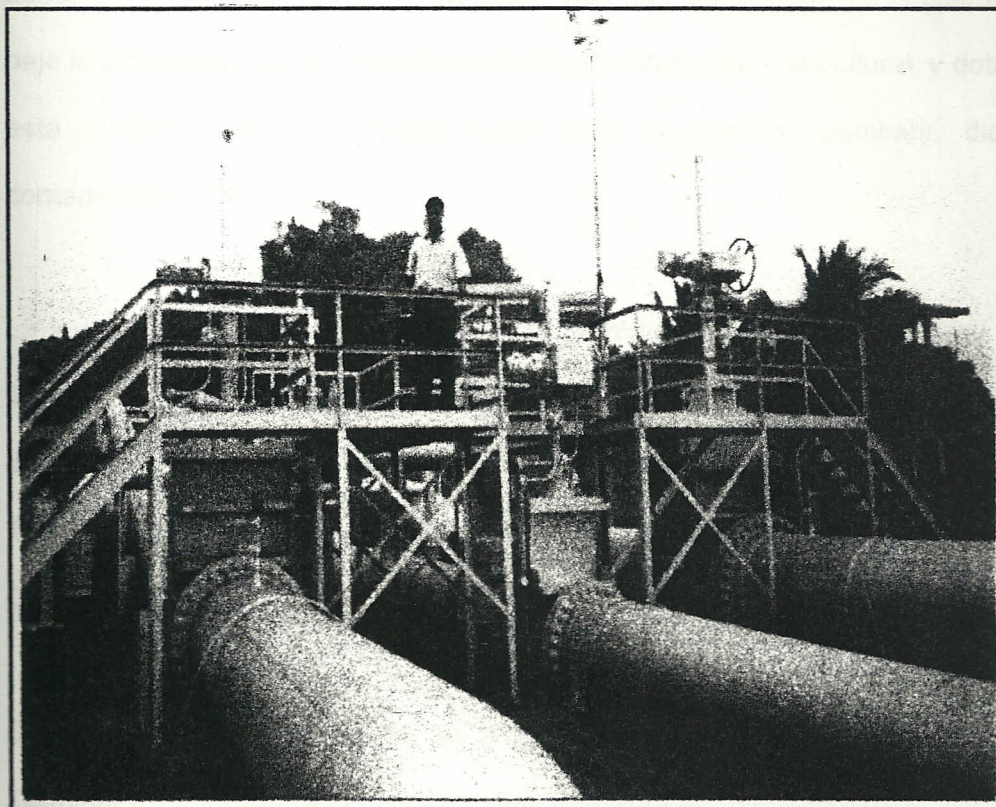


Figura 1.5 Válvulas (Manifold de Playa)

1.4 Responsabilidades Actuales

Antecedentes:

La ley de control y prevención de contaminación por Hidrocarburos, publicada en el Registro Oficial N° 945, del 20 de Septiembre de 1974, en el anexo al título III del código de Policía Marítima, declara de interés público el control de contaminación producido por hidrocarburos, en las aguas territoriales, costas y zonas de playas, así como en los ríos y vías navegables que se encuentran bajo la jurisdicción de la Dirección de la Marina Mercante y del Litoral, y dota a esta entidad del instrumento legal que le permite combatir dicha contaminación. (4)

La ley de Régimen Administrativo de los Terminales Petroleros en el art. 11, literal G, asigna funciones y atribuciones del Superintendente para el control de contaminación marina en su jurisdicción y el Art. 9 le dota de organismos Técnicos Administrativos, por lo cual cuenta con la Unidad de Control de Contaminación.

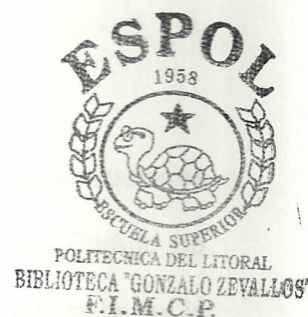
En el Art. 4 asigna funciones de seguridad y control en la jurisdicción del Terminal Petrolero al destacamento Naval designado por la Armada Nacional en coordinación con la Superintendencia.

En el art. 5 dispone el mantenimiento de la coordinación necesaria con dependencias del Ministerio de Energía y Minas, Petroecuador y cualquier organismo gubernamental, en lo concerniente al manejo y control de hidrocarburos. La jurisdicción del Terminal Petrolero ha sido determinada por el Consejo Nacional de Marina Mercante y Puertos.

Todas las Instituciones que tienen a cargo el manejo de petróleo y/o derivados, realizan acciones de prevención y control de contaminación en sus respectivas áreas de contaminación o desastre mayor o en otras áreas a pedido de y bajo la coordinación del Terminal Petrolero de Balao.

Estas Instituciones son:

- SUINBA, Unidad Control de Contaminación
- OLEODUCTO, Balao
- TEPRE, Balao
- REFINERIA, Dpto. de Seguridad Industrial
- MINISTERIO ENERGIA Y MINAS, Of. Esmeraldas
- INECEL, Central Térmica Esmeraldas



Todas las Instituciones mantienen su personal y material en óptimo estado de alistamiento, para empleo inmediato en cualquiera de las áreas donde se produjera contaminación y/o desastre posterior, para lo cual informarán a la

Superintendencia del Terminal Petrolero sobre la disponibilidad de personal y material periódicamente.

En caso de inminente peligro, la cooperación en las acciones será directa e inmediata entre áreas colindantes.

A continuación anotamos algunas de las obligaciones de los organismos Rectores del Terminal Petrolero:

Superintendencia del Terminal Petrolero de Balao.

Entre las principales obligaciones de esta Superintendencia podemos anotar las siguientes:

- a) Cumplir todas las disposiciones y regulaciones, así como las atribuciones que le confieren las leyes y reglamentos en especial los del Código de Policía Marítima, y actuará ejerciendo la autoridad que esta y otras leyes le confieren.
- b) Emitir constantemente las políticas para prevenir y controlar la contaminación ambiental y otras emergencias derivadas.

- c) Tomar a cargo la dirección de todas las acciones para el control de emergencias o desastres una vez producidos, como también del personal y material disponible.
- d) Coordinar con el Comandante del Batallón Naval de Balao para mantener la seguridad del área afectada.

Unidad de Control de Contaminación

- a) Ejecutar las acciones de prevención y control de contaminación contenidas en las políticas emitidas para y por la Superintendencia de Balao.
- b) Cumplir todas las tareas administrativas estipuladas en el Reglamento de Organización de los Terminales Petroleros.

Unidad de Coordinación

La Superintendencia del Terminal Petrolero de Balao a través de la Unidad de Control de Contaminación realiza la coordinación respectiva, en apoyo a las acciones de prevención y control de la contaminación en la forma siguiente:

- a) Con el Cuerpo de Bomberos de Esmeraldas para el combate de incendios en las áreas marítimas y terrestres.

- b) Con el Batallón de Ingenieros Montufar para el empleo de vehículos, materiales y personal de seguridad en el área terrestre.
- c) Con el Batallón Naval de Balao para mantener la seguridad del área.
- d) Con la Capitánía de Puerto de Esmeraldas, para el uso de embarcaciones marítimas y fluviales en apoyo al control de contaminación, para transporte del personal y material; y para todas las acciones a tomarse fuera de la jurisdicción del Terminal Petrolero.
- e) Con las instituciones que tienen a cargo el manejo de petróleo y derivados para el empleo inmediato del personal y material.
- f) Con el Organismo de Defensa Civil de la Provincia, cuando la emergencia degenera en desastre, en cuyo caso pondrán todo su personal y material a disposición del jefe de dicho organismo.

1.5 Plan de Contingencia

Requerimientos

El objetivo de esta investigación es contribuir con un sistema de protección catódica que disminuya el riesgo de un colapso de las tuberías.

También es necesario contar con un buen planeamiento para emergencias, si se quiere evitar un derrame de petróleo y/o productos derivados. Sería muy difícil reaccionar ante un derrame juntando el personal y equipo que por casualidad estuvieren por ahí y tratar de organizarlos en un grupo efectivo de control.

Sin embargo, si es que hay disponible un buen plan de contingencias, el esfuerzo de control ya está organizado por anticipado, el equipo está listo y a la mano, el personal está entrenado y listo para llevar a cabo una tarea. El papel de un buen plan de emergencias es explicar claramente y en detalle los pasos precisos que se tomarían en el posible caso de un derrame.

El presente plan fue elaborado con la finalidad de obtener una respuesta rápida, eficiente y segura ante cualquier caso de derrame de hidrocarburos en el Terminal Marítimo de Balao y áreas adyacentes, mediante una adecuada y eficiente utilización de los recursos humanos y económicos disponibles por el Terminal y otros recursos provenientes de Instituciones Estatales o Particulares.

La elaboración del Plan de Contingencia tiene como meta la de llenar un vacío existente en las normas y procedimientos de Petroecuador en un eventual siniestro, sirviendo de apoyo y consulta para los profesionales de esta Empresa.

El presente plan más un correcto adiestramiento, charlas, simulacros y uso de equipos adecuados coadyuvarán en el éxito de una operación de control de derrames de hidrocarburos y a un alto grado de eficiencia en las acciones de control del siniestro, minimizando o eliminando los efectos que por contaminación se produjeran sobre la Ecología.

1.5.1 Identificación de Factores que Ocasionan posibles daños a las Líneas Submarinas.

Entre los principales factores o causas que podrían afectar la integridad de las líneas submarinas del Terminal Marítimo de Balao y que ocasionarían una inminente rotura se encuentran los siguientes puntos:

- Sismos
- Cargas inducidas por Corrientes Marinas
- Cargas por mala maniobra de embarcaciones
- Corrosión
- Mala Operación del Sistema de líneas

Acto terrorista

Los sismos y maremotos están íntimamente ligados y dan como resultado un deslizamiento de las tuberías y accesorios hasta un punto en que la resistencia del material del que están construidas las líneas ceden ante los esfuerzos de torsión y compresión produciéndose el fraccionamiento con consecuencias ya identificadas.

La mala maniobra de un barco en lo referente al procedimiento de anclaje puede afectar de manera directa en el normal funcionamiento de las tuberías submarinas, el ancla del barco puede engancharse con la tubería, jalarla produciéndose un esfuerzo lateral en la estructura de las tuberías submarinas y luego romperlas. Asumimos un rango de 5 a 10 Ton. de carga lateral que se podría producir en casos de excepcional eventualidad.

Las corrientes marinas de considerable fuerza ocasionan un deslizamiento de la tubería y el fraccionamiento de la misma.

La rotura del hormigón que recubre las tuberías, por cualquier factor que sea, lleva consigo en un futuro cercano la pérdida de espesor de la tubería como resultado de la acción corrosiva del agua de mar.

La mala operación de la tubería submarina debido a una sobrepresión en las líneas, tendrá como resultado la rotura de estas principalmente en los sistemas de unión como los son las bridas, válvulas, mangueras o en la misma tubería, dando como consecuencia un derrame.

Propuestas de Acciones Inmediatas

Entre los daños con que actualmente operan las tuberías submarinas está la rotura de un sector del revestimiento de hormigón de varias líneas, además el sistema de protección catódica dejó de operar hace varios meses.

Todo lo anterior me obliga a proponer acciones inmediatas como lo es: Inspecciones técnicas periódicas que nos darán una idea clara del estado de las tuberías, un diseño del sistema de protección catódico apropiado para este tipo de material de acuerdo al medio que las rodea, revestimiento de las tuberías con hormigón. Todo lo anterior con sus respectivas pruebas y por ultimo una instrumentación adecuada para la correcta operación del Terminal.

Inspecciones Técnicas Periódicas

Debido a la necesidad que existe de conocer el estado como se encuentran las instalaciones submarinas, ya que en 26 años

aproximadamente no se ha realizado más que una sola inspección de las tuberías, mi sugerencia como parte involucrada en la prevención de derrames es "Una Inspección Técnica Periódica" cada 5 años o cuando el caso lo amerite y deberá consistir de una revisión general y completa del sistema de líneas submarinas, plem, boyas de amarre a B/T's y sus anclajes, así como también de la toma de potenciales tanto terrestres como submarinos.

Este trabajo se lo realizó minuciosamente dada su importancia y se usó videos VHS como material de apoyo.

Es necesario señalar que a medida que se desarrolló la inspección, nos encontramos con problemas que pueden ser corregidos a tiempo. Cabe indicar que este trabajo fue ejecutado por profesionales en la materia.

Necesidad del Sistema de Protección Catódica

Debido a que las líneas submarinas se encuentran en los actuales momentos sin protección catódica alguna, se hace necesario e imperioso el diseño y montaje de un sistema de protección catódica que ayude a mantener las tuberías en buen estado y prolongue su vida útil.

Entre los daños principales con los que sufre el Sistema de Protección Catódica están:

- Transformador Rectificador fuera de servicio.
- Cables conductores arrancados.

1.5.2 Plan de Acción para Control de Derrames en el Area Marítima.

Manual de Procedimiento Operativo para Contingencia.

Entre las acciones inmediatas previstas para derrames de productos en líneas submarinas, están las siguientes: (4)

- Notificar al Superintendente del Terminal de Balao.
- Cierre todas las Válvulas para cortar el flujo de producto en la línea afectada.
- Impedir que el personal no autorizado se acerca al área.
- Enviar los equipos que sean necesarios para evitar la propagación del derrame.
- Usar los equipos apropiados para el control de derrames.

- Evacuar el área.
- En caso de ser necesario la Superintendencia del Terminal de Balao obtendrá el auxilio de fuentes externas.

Primera Acción

La Persona que Detecta el Derrame :

- Da la alarma interna por medio de teléfonos, radios, activando dispositivos o cualquier medio de comunicación a su alcance y avisa a la Sala de Control indicando la magnitud, localización y naturaleza del derrame.

Sala de Control

- La persona que recibe el aviso del derrame comunicará inmediatamente al Supervisor de turno.

Supervisor de Turno en la Sala de Control

- De acuerdo al manual de operaciones, guía de seguridad y operativo que se esté realizando, adopta la acción adecuada a la emergencia

(paralización de la operación, bloqueo del sector en operación mediante el cierre de válvulas de la línea afectada, etc.).

- Encarga la Sala de Control al documentista de turno y se traslada de inmediato al sitio del derrame, donde planificará la acción a tomarse para el control inmediato del derrame, condicionando su plan a las disponibilidades de personal, equipo, magnitud del siniestro, peligros adyacentes, ayuda exterior potencial, etc.

Documentista de Turno

- Procede conforme a las disposiciones del Supervisor en cuanto a la operación del Terminal.
- Comunicar por cualquier medio a las autoridades superiores.

Operador de Turno

- Al conocer la alarma se trasladará de forma inmediata al sitio del derrame llevando consigo al personal de mantenimiento y bodega.
- En el sitio del derrame se pondrá a ordenes del Supervisor, cumpliendo estrictamente las disposiciones de éste, o, en su

ausencia, ejecutará las acciones apropiadas del caso, hasta su llegada.

Ayudante de Operador

- Al conocer la alarma, se trasladará inmediatamente al sitio del derrame, transportando consigo al personal de la Brigada de Derrames y personal de contratistas disponibles.

Segunda Acción

En el Sitio del Derrame

- El Supervisor organizará al personal disponible para combatir al derrame, manteniendo permanentemente informada a la Sala de Control, estableciendo un puesto de comando.
- A la llegada del Jefe de Operaciones Marítimas, el Supervisor de Seguridad Industrial o Superintendente del TEPRE, tomarán el control de las acciones sucesivas, coordinando siempre con los ejecutivos del Oleoducto.
- El Superintendente del Terminal de Balao o quien lo reemplace, mantendrá informada a la oficina central en Quito y coordinará con



los diferentes organismos externos que puedan ofrecer ayuda en el control del siniestro

- El Jefe de Operaciones Marítimas, Jefe de Operaciones Terrestres y el Jefe de Mantenimiento en su especialidad, colaborarán y combinarán esfuerzo de serlo necesario y si el caso lo amerita.

En la Sala de Control

- El documentista de turno establecerá las comunicaciones que fueren necesarias y en el sentido que sean emitidas desde el centro de mando del derrame.

Acciones Posteriores

En el Sitio del Derrame

- El personal de la brigada de derrames, al mando del Supervisor de Seguridad Industriales, se concretará a realizar labores de combate del derrame y protección.
- A la llegada de personal y material de apoyo se prestarán las facilidades que las circunstancias exijan, a fin de lograr un máximo aprovechamiento de los recursos.

En la Sala de Control

- No se emitirá ninguna información a menos que esté previamente autorizada por el Superintendente.

CAPITULO 2

ASPECTOS IMPORTANTES DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA DEL OLEODUCTO SUBMARINO EN EL TERMINAL PETROLERO DE ESMERALDAS

Capítulo 2

2. ASPECTOS IMPORTANTES DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA DEL OLEODUCTO SUBMARINO.

2.1. Formas probables de Corrosión en Agua de Mar.

Ataque Macroscópico.-

Corrosión Galvánica

Puede ocurrir cuando dos metales diferentes están en contacto (o conectados por un conductor metálico) y están expuestos a una solución conductora o electrolito.

Entre dos metales diferentes existe una diferencia en el potencial eléctrico, que actúa como una bomba de electrones pasando entre si corriente eléctrica, la misma que causa la corrosión en uno de los metales de la junta.

Mientras mayor sea la diferencia de potencial entre los dos metales, mayor será la posibilidad de corrosión galvánica. (6)



Nótese que la corrosión galvánica solamente incrementa el deterioro de uno de los dos metales (llamado el más activo) mientras que el otro metal se corroe menos y se denomina metal más noble.

En vista de que la densidad de corrientes es función del área de un conductor, es importante considerar la relación de áreas entre el metal noble y el metal activo.

Una gran área noble con relación a una pequeña área activa, acelerará la corrosión.

$C/A > 1 \rightarrow$ ALTA VELOCIDAD CORROSIÓN

Precauciones:

- Usar metales que estén próximos en la serie galvánica para el medio dado.
- Evitar efectos desfavorables de áreas.
- Aislar eléctricamente los metales.
- Utilizar recubrimientos.
- Utilizar protección catódica.



Figura 2.1 Corrosión Galvánica

TABLA IV

**SERIE GALVÁNICA DE METALES SELECCIONADOS
EN AGUA DE MAR**

| Noble |
|--|
| Grafito |
| Titanio |
| [Acero Inoxidable 316(pasivo) |
| [Acero Inoxidable 304(pasivo) |
| Monel (aleación 400) |
| [Cuproníquel 70:30 |
| [Cuproníquel 90:10 |
| [Aceros Inoxidable serie 400(pasivo) |
| [Bronce al Silicio |
| [Bronce al Manganeso |
| [Cobre |
| [Latón Admiralty |
| [Latón Rojo |
| [Latón Amarillo |
| [Latón Naval |
| [Metal Muntz |
| Acero Inoxidable 316 (activo) |
| Acero Inoxidable 304 (activo) |
| Aceros Inoxidables Serie 400 (activo) |
| [Hierro Fundido (No corroído grafiticamente). |
| [Acero |
| Aluminio |
| Acero Galvanizado |
| Activo |

Corrosión Erosión

Cuando un medio corrosivo actuando sobre una superficie metálica aumenta su velocidad de ataque debido al desgaste mecánico y corrosión, el resultado se conoce con el nombre de corrosión erosión.

El papel de la erosión se atribuye usualmente a la remoción de las películas superficiales protectoras o dicho teóricamente: libre difusión de los iones activos hacia las superficies o despolarización por eliminación rápida de la concentración de iones metálicos.

Su apariencia generalmente es en forma de agujeros poco profundos con el fondo alisado, el ataque puede seguir una forma en relación con la dirección de la ruta que el agente de corrosión sigue al moverse sobre la superficie del metal.





Figura 2.2 Muestra de una forma de Corrosión Erosión

Corrosión por Socavados (Crevice)

Este tipo de corrosión se forma en empaques, juntas, remaches, ribetes, etc., se originan también por depósitos de mugre productos de la corrosión, rasguños en la pintura; etc.

Generalmente se produce por las siguientes causas:

- Diferenciales de concentración
- Diferenciales de Oxígeno
- Crecimiento de lones perjudiciales
- Disminución de un Inhibidor

Como todas las formas de ataque localizado, este tipo no se presenta en todos las combinaciones metal-medio corrosivo, algunos materiales son más susceptibles a este tipo de corrosión que otros: aquellos que dependen de una película por acción de oxígeno para su protección contra la corrosión como los aceros inoxidable, aluminio, titanio.

Corrosión por Picaduras (Pitting)

Es una forma de corrosión localizada por una celda de acción local que produce cavidades inicialmente superficiales. Estas cavidades pueden o no estar llenas de producto de corrosión.

Es común encontrar los productos de corrosión formando capas sobre las cavidades y se denominan tubérculos.

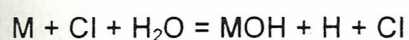
La forma de los pitts varía ampliamente y generalmente su profundidad es mayor o igual a su diámetro.

Este tipo de corrosión ocurre cuando un metal es protegido por una película que es parcialmente resistente y puede presentarse sobre magnesio, aluminio, titanio, aceros inoxidable, cobre o acero, hierro, plomos u otros.

La importancia práctica del pitting depende del espesor del metal y de la velocidad de penetración, la misma que decrece con el tiempo especialmente

si el número de pitts incrementa, existiendo casos de falla de equipos por perforación con sólo una pequeña pérdida del material en peso.

La rápida disolución del metal dentro de la picadura tiende a producir un exceso de cargas positivas en esta área, dando como resultado la migración de iones cloruro para mantener la electroneutralidad, entonces dentro de la picadura se presenta alta concentración de cloruros y la hidrólisis.



dando alta concentración de H^+ .

Los cloruros y el hidrógeno estimulan la disolución del metal acelerando el proceso con el tiempo.

Desde el punto de vista práctico, las mayores fallas por pitting se presentan en medios que contengan cloro o cloruros y los mismos están presente en la mayoría de las aguas, tanto de mares como ríos y esteros.

Se recomienda:

- Uso de recubrimientos
- Mantenimiento de superficies limpias y homogéneas.
- Los aceros inoxidable son más susceptibles al pitting que los aceros al carbón.

- Este tipo de corrosión es evaluada por profundidad de picadura y no por pérdida de peso.

En la siguiente figura se muestra una forma de corrosión por picaduras:

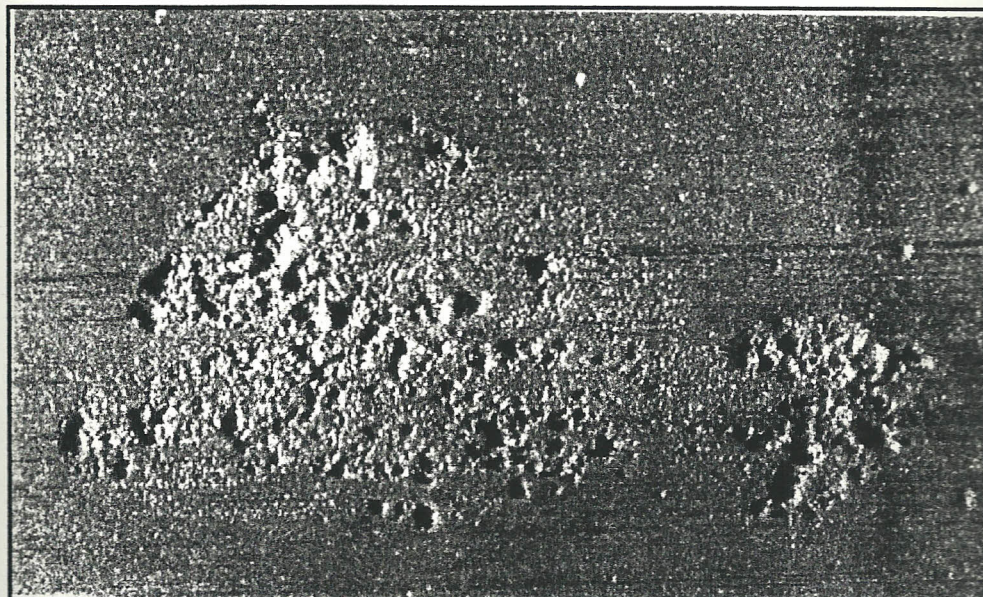


Figura 2.3 Corrosión por Picadura

Corrosión por Corrientes Parásitas

Cuando una corriente eléctrica, abandona la superficie de un metal y fluye dentro del medio ambiente, puede ocurrir corrosión.

La corriente puede ser causada por el contacto de la superficie con un metal diferente o por corriente impresa externa, siendo sumamente crítico cuando la corriente es continua, su fundamento se explica como corrosión electrolítica.

ATAQUE MICROSCÓPICO

En estos casos de corrosión, la cantidad de metal disuelta es mínima y el daño causado puede ser máximo y no es visible al ojo humano y se requieren microscopios especiales para su identificación.

Corrosión por Oxígeno

Un agua de pH neutro que no contenga oxígeno disuelto no corroe significativamente el hierro ni el acero cerca de la temperatura ambiental. La velocidad de corrosión del hierro en aguas desaireadas a temperatura ambiente es menos que 0,2 mils/año (0,005 mm/año).

En agua saturada con aire, las velocidades de corrosión pueden ser 100 veces mayores. La velocidad de la corrosión del hierro y de la mayor parte de las aleaciones inoxidables es casi proporcional a la cantidad de oxígeno disuelto (por lo menos a concentraciones de oxígeno hasta varias partes por millón).

La corrosión cesa cuando todo el oxígeno disuelto se ha consumido. La velocidad de corrosión se ve controlada principalmente por las velocidades de las reacciones catódicas, las reacciones catódicas suelen ser mucho más lentas que las reacciones anódicas. La reacción más lenta controla la velocidad de corrosión.

Si la concentración de oxígeno es alta favorece la reacción catódica, lo que también incrementa el desgaste mediante un proceso llamado despolarización. La despolarización es simplemente la remoción de iones hidrógeno de la solución cerca del cátodo.

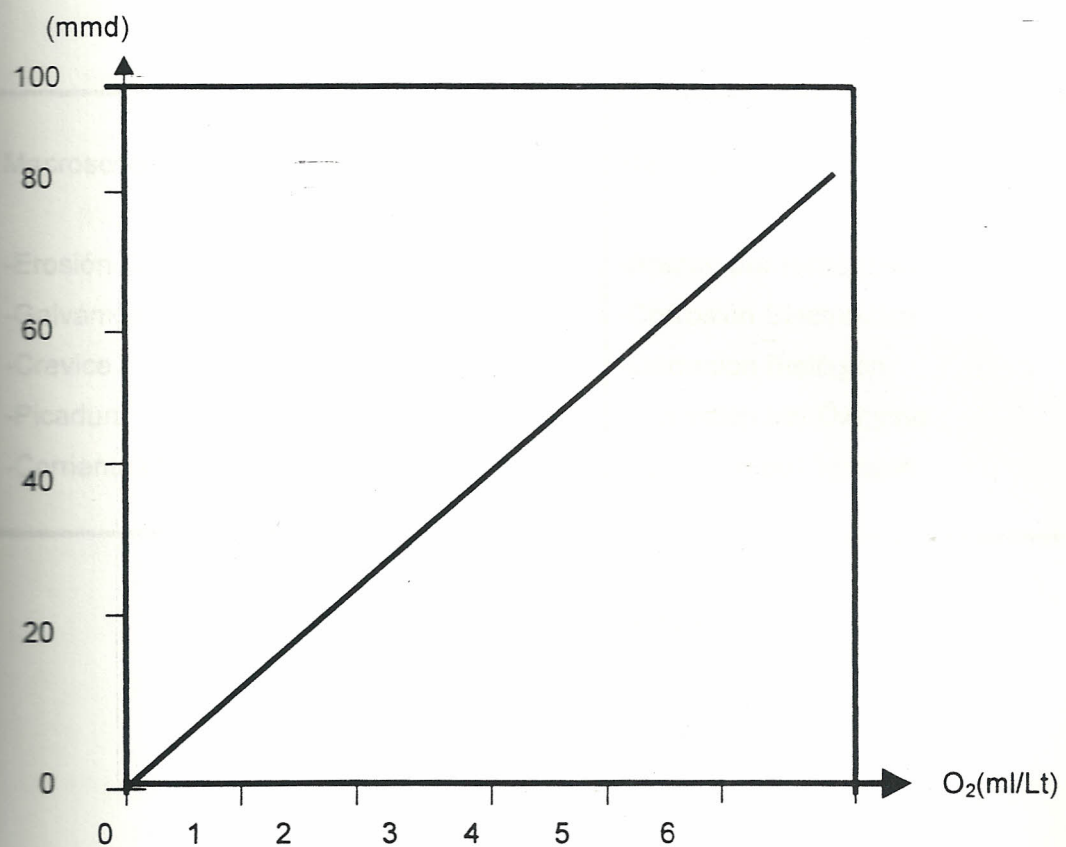


Figura 2.4 Diagrama de Concentración de Oxígeno

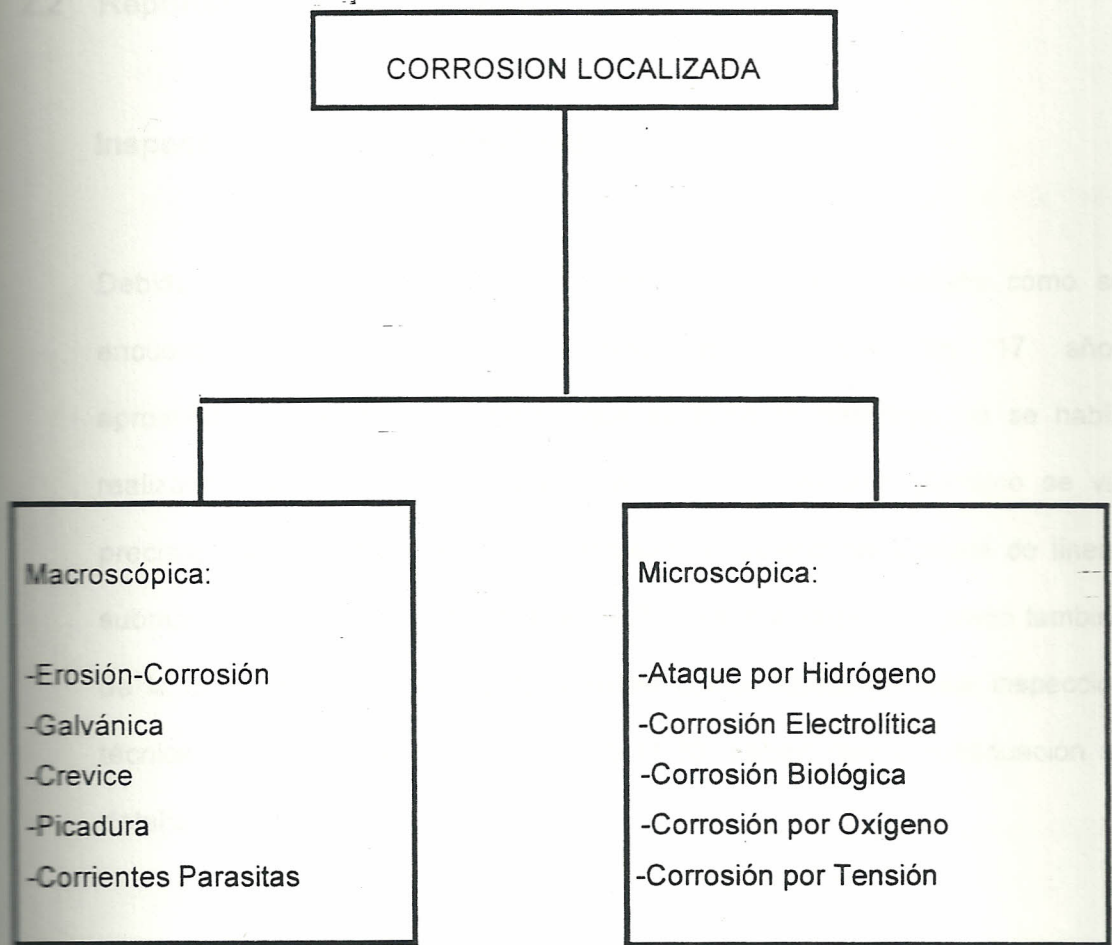


Figura 2.5 Tipos de Corrosión en Agua de Mar

2.2 Reportes de Daños Ocurridos

Inspecciones Técnicas Realizadas:

Debido a la necesidad que ha existido de conocer el estado cómo se encuentran las instalaciones submarinas, ya que en 17 años aproximadamente, es decir desde que se inició la Refinería, no se había realizado una inspección completa de éstas, el Terminal Marítimo se vio precisado a realizar una revisión e inspección general del sistema de líneas submarinas, plem, boyas de amarre a B/T's y sus anclajes, así como también de la toma de potenciales tanto terrestre como submarino, esta inspección técnica se realizó a partir del día 13-11-93, trabajo que a continuación se detalla: (8)

BOYA "X"

- Anodo de sacrificio gastado en un 65,75%.
- Pasadores de grilletes de unión del triángulo al muerto, se encuentran desgastados.

BOYA "Y"

- Anodo de sacrificio gastado en un 50% a 60%, teniendo que cambiarlo cuando se acerque al 75 o al 80%.
- Tuerca del pasador del grillete del triángulo de unión al muerto, se encuentra flojo.

Manifold Submarino

- Ocho son los ánodos de sacrificio gastados en un 45%

Tubería Submarina de 36"

- A los 150 m del plem a la playa se detecta un agujero en la coraza de concreto.
- A los 170 m existe una pequeña fisura en la coraza de concreto.
- A los 190 m desmoronamiento y agujeros en la coraza de concreto aproximadamente en 1 m² de área.
- A los 290 m fisura de aproximadamente 30 cm en la coraza de concreto.

- El carrete que hace la unión de la tubería nueva y antigua se encuentra con la novedad que en los dos extremos existen agujeros en el cordón de soldadura, que es el punto más crítico por fuga de producto.
- A los 820 m, 1105 m, 1320 m, 2450 m y 3207 m hay desprendimiento en la coraza de concreto.

Tubería Submarina de 42"

- A los 190 m presenta un agujero en la parte superior de la coraza de concreto con vista en la parte metálica de tubería, aproximadamente 15 cm.
- A los 1.220 m desprendimiento de la coraza de concreto en un área de 15x20 cm, vista tubería.
- A 1800 m desprendimiento de la coraza de concreto en una área de 65x30 cm.
- A 1850 m pequeño desprendimiento de la coraza de concreto en la parte superior.
- A 1950 m presenta un pequeño desprendimiento de la coraza de concreto.

- A 3120 m desprendimiento de concreto en un área de aproximada de 30 x 60 cm.
- A 3320 m desprendimiento de concreto en un área de 10 x 70 cm aproximadamente.

2.3 Determinación de la Agresividad del Agua de Mar.

Para el dimensionamiento correcto del sistema de protección catódica precisamos unir una serie de informaciones técnicas a respecto de las instalaciones a ser protegidas, informaciones que, en conjunto con las mediciones de campo, conformarán los datos fundamentales para la elaboración del proyecto.

Después de analizadas las informaciones concenientes a la estructura a ser protegida debemos organizar o programar las mediciones de campo de acuerdo con las necesidades.

Las mediciones de campo dependerán de cada situación en particular, siendo la experiencia con otros trabajos semejantes, ya ejecutados, de mucha ayuda.

2.3.1 Resistividad Eléctrica

Uno de los factores que más influye en la corrosión de las instalaciones submarinas es la resistividad eléctrica del medio donde ellas se encuentran.

La resistividad eléctrica del agua pasa por una amplia faja de variaciones, dependiendo de la cantidad de sales disueltas. Por ejemplo, el agua de mar, dependiendo de la región, puede presentar valores desde 20 hasta 100 ohm.cm, siendo el más común el de 40ohm-cm.

Existen varios métodos satisfactorios para la medición de la resistividad eléctrica del agua, pero el de mayor uso es "Soil Box", llamado también caja de prueba.

Resistividad Eléctrica del Agua de Mar

Mediante la técnica de resistencias eléctricas, se determinó la resistividad eléctrica del agua de mar. De esta forma se pudo cuantificar el nivel de agresividad de este medio electrolítico.

Equipos Utilizados:

- Equipo Vibroground. Modelo 263.



- Caja de prueba. MC Miller Soil Box.

Técnica Operativa :

- Se tomó tres muestras de agua de mar en la playa del TEPRE.
- Se realizó lecturas de resistividad del agua utilizando el equipo descrito.



Figura 2.6 Toma de Resistividad del Agua de Mar en Playa Balao

Resultados Obtenidos:

TABLA V

RESISTIVIDADES ELÉCTRICAS DEL
AGUA DE MAR

| Lugar de Toma De La Muestra | Muestra N° | Resistividad Eléctrica (ohm-cm) |
|-----------------------------------|---------------|------------------------------------|
| PLAYA BALAO | 1 | 55 |
| PLAYA BALAO | 2 | 54 |
| PLAYA BALAO | 3 | 56 |

2.3.2 pH del Agua de Mar

Recordemos que el pH es el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno en una solución.

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

Este es un valor de suma utilidad, dado que para cada metal o aleación hay intervalos de pH que son agresivos e intervalos en los cuales difícilmente sufran corrosión.

Debemos así mismo tener presente que un pH inofensivo para un metal puede ser peligroso para otro, por ejemplo, a valores bajos (acidez) el hierro se ataca pero a valores altos (alcalinidad) no, en tanto el plomo por su carácter anfotero se corroe tanto en medio ácido como alcalino.

La medición puede efectuarse por dos caminos distintos, ya sea con indicadores o bien por un método más moderno que es el que emplea pH metros.

Mediante análisis químico se determinó el pH.

Equipos Utilizados:

- Equipo de laboratorio homologado.

Técnica Operativa:

- Se tomo dos muestras de agua de mar: una a marea baja y otra a marea alta.
- Se realizó el análisis químico en laboratorio homologado.- Ver tabla VI y VII .

TABLA VI

ANÁLISIS QUÍMICO (ph DEL AGUA DE MAR)

| PRUEBA A REALIZAR | TÉCNICA |
|-------------------|---------|
| Ph | Phmeter |

TABLA VII

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
(ph DEL AGUA DE MAR)

| Muestras | Lugar de Toma de Muestra | pH |
|----------|--------------------------|-----|
| 1 | PLAYA BALAO | 7.2 |
| 2 | PLAYA BALAO | 7.2 |
| 3 | PLAYA BALAO | 7.5 |
| 4 | PLAYA BALAO | 7.2 |
| 5 | PLAYA BALAO | 7.1 |
| 6 | PLAYA BALAO | 7.2 |

2.3.3 Contenido de Cloruros

Los aniones más comunes que se determinan son : Cloruros, sulfuros, sulfatos, nitratos, nitritos y ocasionalmente algún otro.

Los más usuales son los tres primeros, también aquí se tiene presente que cada metal reacciona de diferente manera frente al medio.

Mediante análisis químico se determinó la presencia de Cloruros.

Equipos Utilizados:

- Equipo de laboratorio homologado

Técnica Operativa:

- Se tomó 6 muestras de muestras agua de mar.
- Se realizó el análisis químico en laboratorio homologado.- Ver tabla VIII y IX.

TABLA VIII

ANÁLISIS QUÍMICO (CLORUROS DE AGUA DEMAR)

| Prueba a Realizar | Técnica |
|--------------------------|---|
| 1. Contenido de Cloruros | Titulación volumétrica con Nitrato de Plata (AgNO_3) |

TABLA IX

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
(CLORUROS DEL AGUA DE MAR)

| Muestras | Lugar de Toma de Muestras | Cloruros (ppm) |
|----------|---------------------------|----------------|
| 1 | PLAYA BALAO | 17881 |
| 2 | PLAYA BALAO | 17901 |
| 3 | PLAYA BALAO | 17758 |
| 4 | PLAYA BALAO | 17786 |
| 5 | PLAYA BALAO | 17801 |
| 6 | PLAYA BALAO | 17799 |



Comentario Respecto a la Agresividad del Agua de Mar.-

Las lecturas de resistividad eléctrica, de pH y de cloruros del agua de mar obtenidas, indican que se trata de un electrolito clasificado como altamente agresivo. Los resultados que promedian los 55 Ohm-cm, son indicadores de alta conductividad eléctrica de los iones metálicos por lo tanto el nivel de actividad iónica de corrosión es elevado.

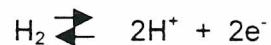
2.4 Diagrama de Pourbaix del Acero

El uso de potenciales REDOX puede ser extendido, graficando los potenciales REDOX como función del pH de la solución, Marcel Pourbaix, científico brillante de la Universidad Libre de Bruselas, descubrió la existencia de relación entre el potencial del electrodo y el pH de las soluciones, para los sistemas en equilibrio. Estas relaciones fueron traducidas gráficamente dando origen a los Diagramas de Pourbaix. (6)

Estos diagramas que se conocen como diagramas de Pourbaix se elaboran utilizando cálculos electroquímicos, datos de solubilidad y constantes de equilibrio.

Los constituyentes del agua, H^+ y OH^- pueden ser reducidos u oxidados, todo esto nos da las siguientes condiciones de equilibrio:

a)



Cuyo potencial, de acuerdo con la ecuación de Nernst, es:

$$E = E_0 + \left[\left(\frac{R \cdot T}{2F} \right) \times 2.3 \times \log \frac{(\text{H}^+)^2}{(\text{PH}_2)} \right]$$

Donde:

E = potencial de electrodo dada la condición, en voltios;

E₀ = Potencial patrón de H₂ que es cero, por definición, en Voltios;

T = Temperatura absoluta en, en °K;

R = Constante de los gases perfectos;

F = Faraday.

Para concentraciones diferentes, se tiene:

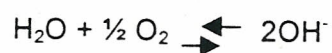
$$E = 0 + 0,0591 \log (\text{H}^+),$$

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

$$E = 0 - 0,0591 \text{ pH}$$

Que representa una recta, la misma que ha sido denominada recta "a", en el mencionado diagrama.

.b)



$$E = + 0,401 + (0,0591/2) \log [(\text{PO}_2)^{1/2} / (\text{OH}^-)^2]$$

siendo la presión del oxígeno igual a 1, resulta:

$$E = + 0,41 - 0,0591 \log (\text{OH}^-)$$

considerando que $-\log (\text{OH}^-) = 14 - \text{pH}$, obteniendo entonces:

$$E = 1,229 - 0,0591 \text{ pH}$$

la misma que es otra recta, de igual pendiente, por tanto paralela a la recta "a" y que se la denomina recta "b". Estas dos rectas definen campos importantes en el diagrama, como se muestra en la Figura 2.7

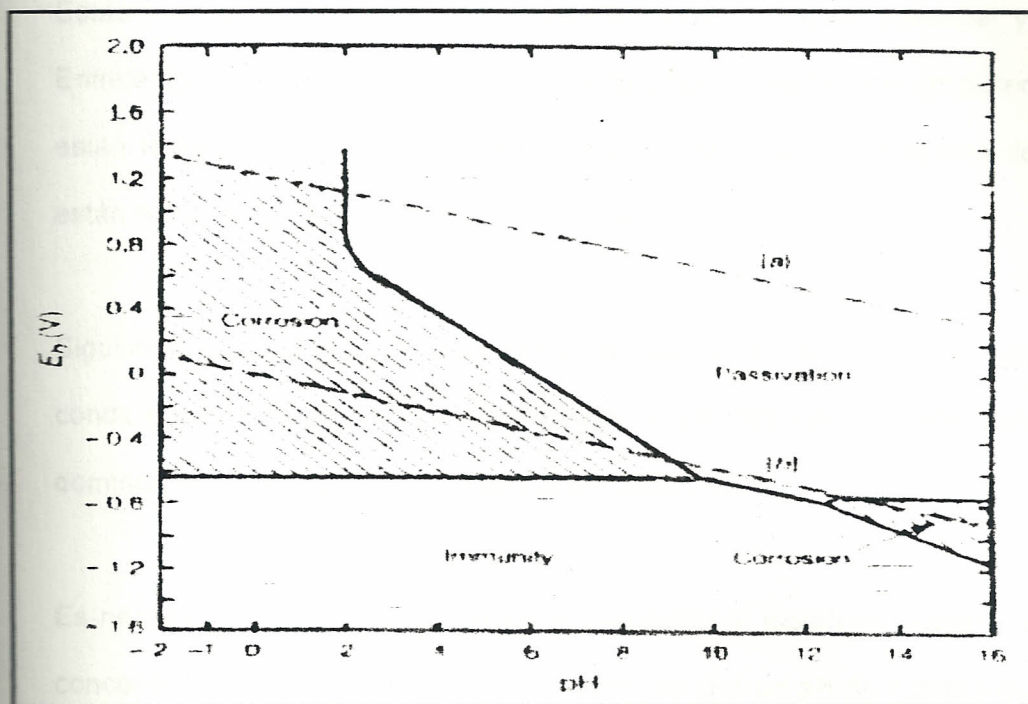


Figura 2.7 Diagrama pH Potencial para el Acero

La región comprendida entre las rectas "a" y "b" representa el dominio de la estabilidad termodinámica del agua, a temperatura de 25°C, a una presión de 1 atm. Debajo de la recta "a", que corresponde a una presión de hidrógeno igual a 1 atm., el agua tiende a descomponerse por reducción, de acuerdo con la reacción:



y encima de la recta "b", que corresponde a una presión de Oxígeno a 1 atm, el agua tiende a descomponerse por oxidación de acuerdo con la reacción:

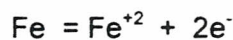


Estas reacciones son de carácter general, involucrando al potencial y pH. Entretanto, las otras condiciones de equilibrio que no dependen del potencial, están representadas por rectas verticales, y otras que no dependen de pH están representadas por rectas horizontales.

Siguiendo estos preceptos, Pourbaix trazo las curvas representativas de las condiciones de equilibrio entre un elemento y sus compuestos, definiendo los dominios de estabilidad termodinámica de cada uno.

Es necesario recordar que el pH es simplemente el logaritmo negativo de la concentración de Iones Hidrógeno de tal manera que un pH de 7 indica que se tiene 10×10^{-7} iones de Hidrógeno por litro de solución y corresponde a una solución neutra, mientras un pH 0 representa una solución muy ácida y un pH 14 una solución muy alcalina.

El diagrama de Pourbaix para el sistema Fe-H₂O permite ver que a potenciales más positivos que 0.6 Volt. y pH menor que 9, los Iones Ferrosos son la substancia estable por lo que el Hierro deberá corroerse en estas condiciones suministrando Iones Fe⁺²



En otras regiones del diagrama se puede ver que la corrosión del Hierro produce Iones Férricos, hidróxido férrico, hidróxido ferrosos y en condiciones muy alcalinas Iones complejos.

Cada uno de los productos son causados por diferentes mecanismos de reacción los que dependen del pH o del potencial o de ambos y que establecen diferentes equilibrios químicos entre las fases Metal-Líquido, así como la zona donde se mantiene la fase sólida inalterable es decir **INMUNE**.

Un análisis detallado de este tipo de diagramas permite:

- Predecir si existe corrosión o no.
- Estimar la composición de los productos de corrosión.
- Estudiar mecanismos de control de corrosión.

Para conocer el estado de una estructura que está instalada en un medio agresivo, se mide su potencial respecto a un electrodo de referencia, que dependiendo del medio pueden ser: Ag/AgCl, Cu/CuSO₄, Zn, E.C.S., etc.

Los electrodos de referencia son dispositivos indispensables en la tecnología de protección catódica.

Estos electrodos miden el potencial de una estructura en relación al medio, con el fin de evaluar la condición del material metálico; esto es, verificar si hay corrosión, si la estructura está protegida o se encuentra influenciada por corrientes de interferencia.

Existen electrodos para uso en el campo de trabajo y electrodos para uso de laboratorio. Los electrodos de laboratorio son básicamente los de hidrógeno y los de calomelano saturado (E.C.S.).

Los electrodos de campo más usados son los de Ag/AgCl, o los Cu/CuSO₄ saturado y los de Zinc. Los electrodos de Cu/CuSO₄ son usados principalmente para la medición de potenciales en suelo y su uso en medios líquidos debe ser evitado.

El electrodo de Ag/AgCl está especificado exclusivamente para agua salada, mientras que el electrodo de Zinc se presta para llevar a cabo mediciones tanto en suelo como en agua salada.

TABLA X

**SIGNIFICADO DE LAS MEDIDAS DE POTENCIAL
CON RESPECTO A DIFERENTES ELECTRODOS
DE REFERENCIA Y EQUIVALENCIA
ENTRE ELLOS**

| | Ag/AgCl | Cu/CuSO₄ Saturado | Zn/Agua de mar |
|----------------------------|----------------|---|-----------------------|
| Corrosión | -500 | -1.500 | +600 |
| Corrosión Suave | -600 | -600 | +500 |
| Protección Parcial | -700 | -700 | +400 |
| | | -800 | +300 |
| Protección Catódica | -800 | -850 | +250 |
| | | -900 | +200 |
| Ligera Sobre Protección | -900 | -1000 | +150 |
| | | -1000 | +100 |
| Sobre Protección | -1100 | -1100 | 0 |
| | | -1100 | -50 |

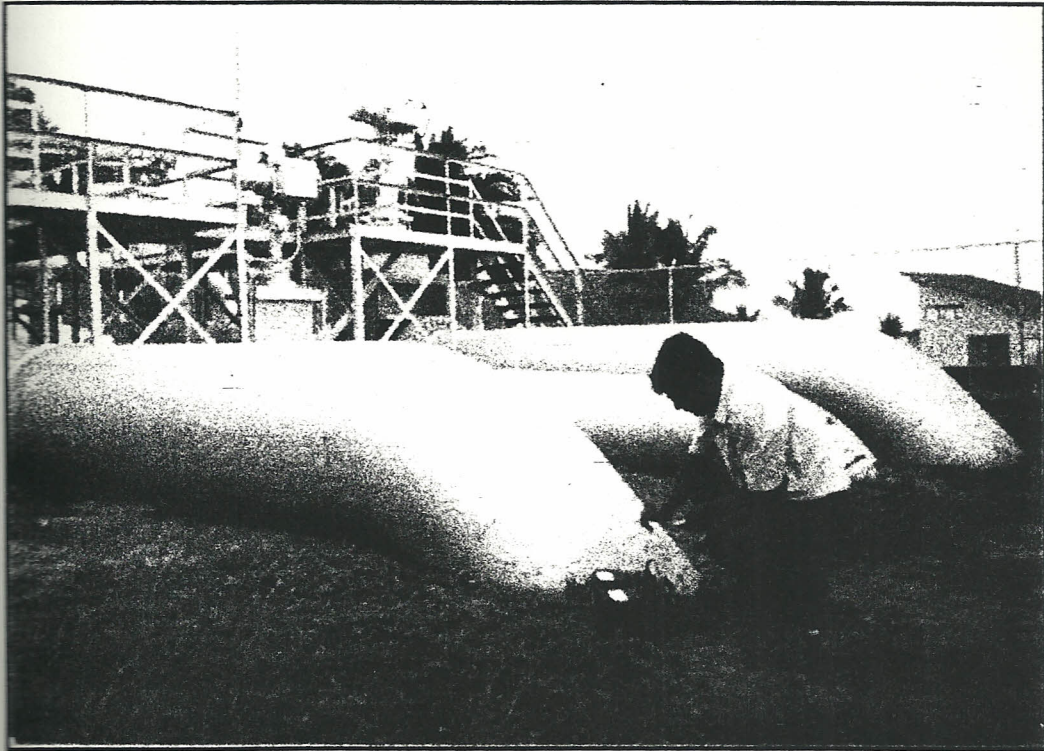


Figura 2.9 Toma del Potencial de Corrosión
en la Tubería

TABLA XI

EQUIVALENCIA APROXIMADA ENTRE ELECTRODOS
DE REFERENCIA


| Cu/CuSO ₄ | Ag/AgCl | E.C.S.* | Zn |
|----------------------|---------|---------|---------|
| -1.20 | -1.15 | | -0.10 |
| -1.10 | -1.05 | | 0.00 |
| | | -1.00 | |
| -1.00 | -0.95 | | +0.10 |
| | | -0.90 | |
| -0.90 | -0.85 | | +0.20 |
| → -0.85 | → -0.80 | → -0.80 | → +0.25 |
| -0.80 | -0.75 | | +0.30 |
| | | -0.70 | |
| -0.70 | -0.65 | | +0.40 |
| | | -0.60 | |
| -0.60 | -0.55 | | +0.50 |
| | | -0.55 | |
| -0.50 | -0.45 | | +0.60 |
| | | -0.40 | |
| -0.40 | -0.35 | | +0.70 |
| | | -0.30 | |
| -0.30 | -0.25 | | +0.80 |
| | | -0.20 | |
| -0.20 | -0.15 | | +0.90 |
| | | -0.10 | |
| -0.10 | -0.05 | | +1.00 |
| | | 0.00 | |
| | 0.00 | | +1.10 |

* Electrode Calomel Standard

El tipo de medición antes mencionado se lo efectúa con un voltímetro de elevada resistencia interna, no inferior a 10 MEGOHM, o bien con un circuito potenciometrico o circuito de oposición.

Para este tipo de medición se emplean dos criterios diferentes utilizados internacionalmente y que son aceptados para comprobar que una estructura esté protegida ó "polarizada catódicamente".

→ Seguiremos el criterio recomendado por la National Asociation of Corrosion Engineers (NACE), la misma que recomienda lo siguiente:

 El criterio del potencial de inmunización del acero, se basa en un potencial equivalente - 800 mV ó mas electronegativo con relación al electrodo de referencia de Ag/AgCl.

• → El criterio que indica el potencial de protección, se obtiene cuando se produce una diferencia de potencial de 100 mV más electronegativo respecto al potencial natural en la estructura (sin protección).

Equipos Utilizados:

- Milivoltímetro de alta impedancia interna (Fluke 087).
- Electrodo de referencia de Ag/AgCl.

- Cableado eléctrico.

Técnica Operativa:

- Se realizaron 5 lecturas en la zona de variación de marea
- Al momento de tomar las lecturas el polo (+) se acopla al electrodo de referencia y el polo (-) a la tubería, esto se hace con la finalidad de obtener lecturas positivas.

TABLA XII

**RESULTADOS DE TOMA DE POTENCIALES
DE CORROSIÓN**

| Lectura N° | Potencial Vs Ag/AgCl (mV) | Observaciones |
|------------|------------------------------|-------------------------|
| 01 | 580 | Tubería en N.M.B* |
| 02 | 600 | Antes Manifold |
| 03 | 620 | Después Manifold |
| 04 | 600 | Tub. en frente de playa |
| 05 | 590 | Tubería en N.M.A* |

* Nivel de Marea Baja

* Nivel de Marea Alta

Comentario Respecto al Potencial de Corrosión

Los valores obtenidos en las mediciones de potenciales de corrosión, indican que las tuberías submarinas, se encuentran activas respecto al agua de mar. Esto implica que el proceso de corrosión se vá acelerando conforme pasa el tiempo.

Potenciales en el orden de los 500 a 600 mV como los encontrados en esta inspección preliminar, demuestran que existe alta actividad iónica en el acero estructural de estas tuberías, incidiendo negativamente en la durabilidad de estas.

Cabe señalar, que no existe potencial de protección, debido a que el sistema catódico se encuentra fuera de servicio.



CAPITULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA PROPUESTO

- 1. Tipo
- 2. Dis
- 3. Re
- 4. P
- 5. App
- 6. E

Capítulo 3

3. DISEÑO DEL SISTEMA CATÓDICO PROPUESTO

Las tuberías submarinas construidos de acero, normalmente revestidos y dotados de encamisamiento de concreto, sufren ataques corrosivo severo debido a las características del agua de mar, de baja resistividad eléctrica. La protección catódica, en estos casos es requisito indispensable para eliminar el ataque corrosivo externo al que están sometidas las tuberías sumergidas. (11)

Se han considerado los siguientes factores en el presente diseño de protección catódica por corriente impresa:

1. Tipo y condición de la estructura
2. Disponibilidad de la fuente de corriente
3. Resistividad del medio
4. Problema de interferencia con líneas extrañas
5. Accesibilidad
6. Equipo y material necesario

En este tipo de tuberías pueden ser utilizados tanto los ánodos galvánicos (Anodos de Sacrificio) como los sistemas por Corriente Impresa, siendo estos últimos los preferidos, una vez que proporcionan mayores facilidades de montaje, vida más larga y costo más bajos, debido a las grandes cantidades de corriente requeridas para la protección del material en el agua de mar.

En los sistemas por corriente impresa, los ánodos más indicados son los de hierro-silicio-cromo y grafito anclados en el fondo del mar y conectados por medio de un cable eléctrico al polo positivo del rectificador.

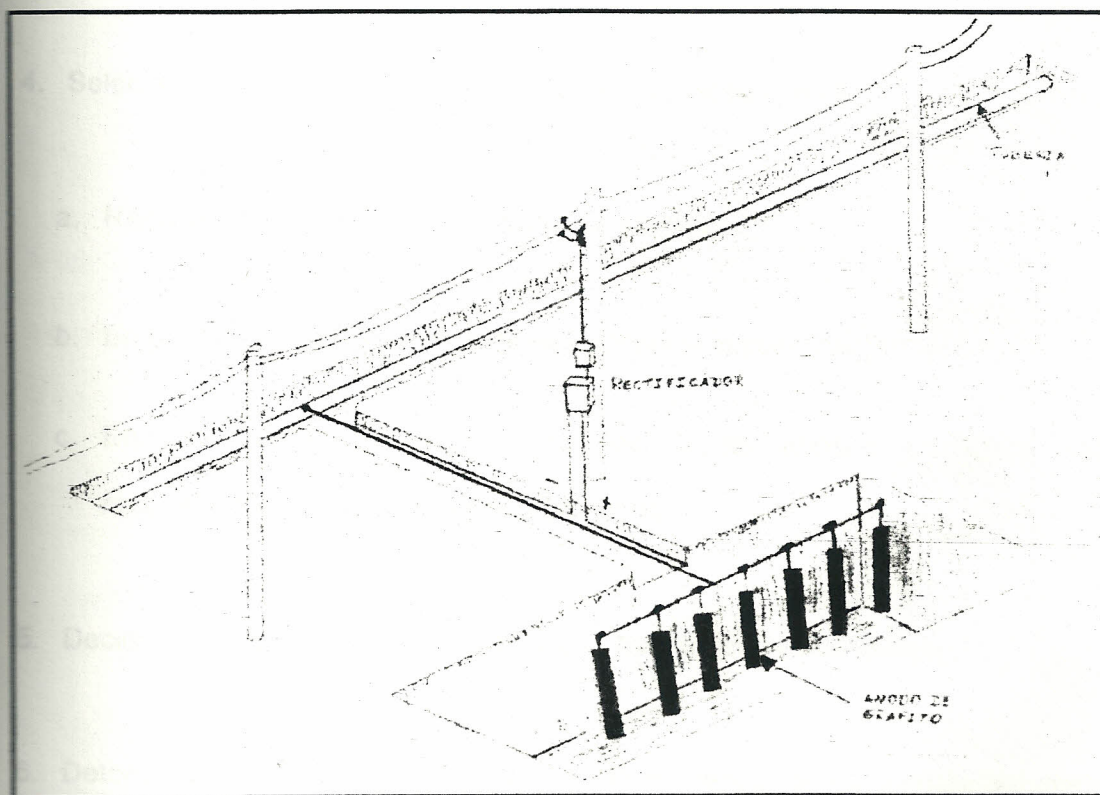


Figura 3.1 Esquema de Colocación de Anodos

A continuación se detallan algunos puntos importantes al momento de diseñar un Sistema de Protección Catódica por corriente impresa : [6]

1. Estimar los requerimientos totales de corriente
2. Establecer la resistividad del medio
3. Determinar los requerimientos de instalación de bridas aislantes y uniones a estructuras ajenas y asegurarse de los requerimientos extras de corriente.
4. Seleccionar la mejor localización de los lechos, la cual sería:
 - a. Razonablemente cerca del suplidor de energía.
 - b. En puntos donde los problemas de interferencia sean insignificantes.
 - c. En una localización donde los lechos de ánodos y cables sean razonablemente inmunes a perturbaciones.
5. Decida si los ánodos van a ser instalados horizontal o verticalmente.
6. Determine la resistencia del circuito (i.e. dependiendo de la condición del medio, etc.)
 - a. Cátodo (usualmente insignificante, debido al gran área del cátodo).

- b. Cables (dependiendo de la corriente, tamaño y longitud del cable).
 - c. Anodo (dependiendo del diseño del lecho)
 - d. Considere los efectos de la caída de voltaje del cátodo en puntos remotos.
7. Decida el voltaje a utilizar
 8. Determine el material óptimo del ánodo.
 9. Deduzca el número y tamaño de los ánodos.
 10. Decida el espaciamiento entre ánodos.

Además de los puntos anteriormente expuestos, será necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Selección de un cable del lecho de ánodos: conductor de tamaño apropiado con aislamientos apropiados para enterrado directo y para uso en protección catódica.
2. Selección apropiada del tipo, tamaño y número de ánodos, tomando en cuenta las condiciones del medio ambiente y la naturaleza del suelo.

3. El método de hacer la unión del cable al ánodo y el material aislante a utilizar para alcanzar uniones perfectas y duraderas.
4. Suficiente profundidad de enterramiento de los cables, para prevenir daños por movimientos de corrientes.
5. Contacto apropiado del cable negativo con la estructura que está siendo protegida.
6. Instalación apropiada del rectificador considerando tierras y otras medidas de seguridad y protección.
7. Apropiaada conexión de los cables positivos y negativos al rectificador.

Otro factor esencial en el diseño del sistema de protección catódica por corriente impresa es la selección e instalación del rectificador, he aquí algunos puntos a tomarse en cuenta:

1. Características de la corriente alterna disponible en el área (voltios, ciclos, fases).
2. Requerimiento máximo de salida en C.D. (Amperios y Voltios).
3. Requerimiento de enfriamiento según las condiciones de seguridad del sitio de instalación: enfriado por aire, inmerso en aceite y a prueba de explosión.

- 4. Sistemas de montaje (sobre el piso, empotrado en pared, en un poste).
- 5. Tipos de elementos de rectificación (selenio, silicio).
- 6. Máxima temperatura de operación
- 7. Sistemas de seguridad (Alarmas, breaker, etc.)
- 8. Instrumentación: Voltímetro y Amperímetro, Sistemas de regulación.

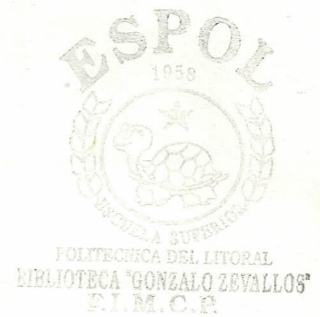
3.1 Especificaciones Técnicas de las Tuberías Submarinas a ser Protegidas.

Tipo de Tratamiento Utilizado:

1.- La tubería submarina lleva el siguiente tratamiento:

A.- Recubrimiento anticorrosivo mínimo 5 mm.

- 1. Shot-Blasting
- 2. Primer Sintético, secado rápido- Tipo B
- 3. Coal-Tar Enamel (brea), Nicolet 70 B, con dos mantos de fibra de 0,5 mm cada uno. En las líneas de 20" y 14" se utiliza Nicolet "High Melt".



4. Manto exterior de asbesto reforzado con fibra de vidrio Nicolet 15 – aprox. 0,75 mm.

B.- Recubrimiento de hormigón común G min. 173.3 Kg/cm2 a los 7 días, con dos mallas de alambre tejido de 38 mm x 38 mm x 1,422 mm de espesor. En la tabla N° XIII se da a conocer los espesores mínimos para cada tubería.

TABLA XIII

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LAS TUBERÍAS

| Diámetro (pulg.) | Espesor Hormigón (mm) | Espesor Tub. (mm) | Longitud (m) |
|-------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------|
| 42" | 40 | 30 | 4000 |
| 36" | 45 | 26 | 4000 |

2.- Los tubos de acero fueron aprobados en fábrica, según certificados de inspección N° W 37772-TS-LA 3 de INTECO (International Inspection Company Limited).

Característica del Electrolito:

El medio en el que las tuberías submarinas operan, es un medio altamente agresivo, sus propiedades de resistividad, cloruros y pH corroboran nuestro criterio.

En lo concerniente a la Resistividad se ha procedido a considerar la media de los valores obtenidos en las lecturas de resistividades eléctricas del agua de mar (55 ohm-cm).

3.2. Requerimientos de Corriente a Suministrar

En la tabla XIV, se exponen valores de densidad de corriente para estructuras metálicas en agua de mar, en diferentes condiciones, sin embargo, no se cita la influencia del agua de mar en sí, que, según del agua de mar de que se trate, las necesidades de corriente pueden ser muy diferentes. Esto motiva que cuando se diseña la protección catódica de un barco, tenga gran interés conocer las aguas por las que normalmente pueda navegar.

TABLA XIV

**DENSIDADES DE CORRIENTE DE PROTECCIÓN EN DIVERSAS
AGUAS DE MAR PARA ACERO DESNUDO**

| Agua de Mar | Densidad de corriente de protección (mA/m²) |
|--------------------|---|
| Mar Mediterráneo | 50-100 |
| Canal de Sicilia | 110 |
| Mar Adriático | 100 |
| Costa del Pacífico | 75-100 |
| Lago de Maracaibo | 86-108 |
| Golfo Pérsico | 70-110 |

Habiendo planteado algunas referencias respecto a la densidad de corriente que se suministra comúnmente en obras similares, corresponde definir a nosotros los requerimientos de corriente que se suministrará a la tubería sumergida objeto de este diseño.

Deberán hacerse las siguientes consideraciones:

1. La densidad de corriente a suministrar será lo suficiente y necesaria para neutralizar los efectos de la corriente de corrosión que se ha generado como producto de la acción corrosiva del agua de mar.

2. La corriente de protección a aplicar será suministrada por ánodos cuya forma geométrica permita un eficiente drenaje de corriente hacia lo largo de la tubería.
3. Los ánodos a utilizar serán de Grafito, debido a sus cualidades en agua de mar.
4. Utilizando la media de los valores obtenidos en la toma de la resistividad eléctrica y aplicando la siguiente ecuación # 1, obtendremos la densidad de corriente a suministrar.

Ecuación # 1

$$D_c = 73,73 - 13,35 \log \rho$$

Donde:

$$\rho = 55 \text{ (ohm-cm)}$$

$$D_c = 73,73 - 13,55 \log 55$$

$$D_c = 50,50 \text{ mA/m}^2$$

Con el valor de densidad de corriente sugerido, se procede a continuación al cálculo de la corriente de protección, para este efecto se realizó los siguientes cálculos:

Ecuación #2

$$I_{TR} = A \times D_c \times (1-E) \times F$$



Donde:

I_{TR} : Corriente de Protección del Transformador (A)

A : Area total del circuito (m^2)

D_c : Densidad de corriente promedio (A/m^2)

E : Eficiencia del recubrimiento Denso tape (%)

F : Factor de Seguridad (1,2)

Cálculo de Variables:

Area:

$$A = \pi \times L \times D$$

$$A = 3.1416 \times 4000 \text{ m} \times (0.9144 + 1.0668) \text{ m}$$

$$A = 24896,5 \text{ m}^2$$

Densidad de Corriente:

$$D_c = 50,50 \times 10^{-3} \text{ A/m}^2$$

Eficiencia (E) :

E = 90% en vista que la tubería tiene un periodo de vida útil de 26 años.

Ahora, utilizando la ecuación # 2, tenemos:

$$I_{TR} = (24.896,5 \text{ m}^2) \times (50,50 \times 10^{-3} \text{ A/m}^2) \times (1-0,9) \times 1,2$$

$$I_{TR} = 150 \text{ A}$$

3.3 Determinación de Masa Anódica

Antes de determinar la masa anódica a utilizar en el dimensionamiento del Sistema de Protección Catódica, será necesario seleccionar el material de los ánodos.

La selección de los ánodos debe ser hecha a partir de las normas y catálogos de los fabricantes de ánodos de manera que atiendan las siguientes consideraciones: (11)

- Polarización inicial de la superficie a ser protegida.
- Masa anódica necesaria para mantener la polarización durante la vida útil prevista para el sistema.
- Polarización de las superficies al final de la vida útil de los ánodos.
- Compatibilidad de montaje con el tipo de estructura a ser protegida.

- Compatibilidad con las condiciones del medio ambiente y de operación.

Para la determinación del número de ánodos, se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación # 3

$$M = D \times V \times I / F$$

Donde:

M : Masa Anódica (Lbs)

I : Corriente requerida para implementar el Sist. Catódico, (Amperios).

V : Vida esperada del sistema catódico (Años).

F : Factor de seguridad (0,85).

D : Desgaste del Anodo (Lb/A-Año).

Cálculo de Variables:

Intensidad de Corriente:

$$I = 125,72 \text{ A}$$

Vida Util:

$$V = 13 \text{ años}$$

Desgaste del Anodo:

Según datos del fabricante, el ánodo de grafito tiene el siguiente desgaste

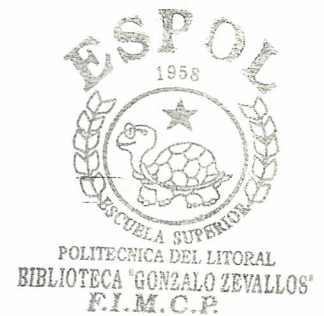
$D_{\min} = 0,4 \text{ Lb/A-Año}$

$D_{\text{med}} = 1,4 \text{ Lb/A-Año}$

$D_{\max} = 2,0 \text{ Lb/A-Año}$

Factor de Seguridad:

$F = 0,85$



Ahora, utilizando la ecuación #3 y el D_{med} . Tenemos:

$$M = \frac{(1,4 \text{ Lb/A-Año}) \times (13 \text{ Años}) \times (125,72 \text{ A})}{0,85}$$

0,85

$$M = 2691,88 \text{ Lbs}$$

3.4 Distribución de Lechos Anódicos

Previo a la determinación del número de ánodos a emplear, realizamos las siguientes observaciones:

1. Los ánodos seleccionados deberán garantizar un buen potencial de ánodo abierto o también llamado potencial natural dados en mV respecto al electrodo de referencia de Plata/Cloruro de Plata.
2. Los requisitos básicos que primarán en la determinación del peso unitario de los ánodos serán:
 - Adecuada difusión de corriente de protección alrededor del perímetro de las tuberías.
 - La cantidad de ánodos serán en función del peso unitario de los ánodos.
 - Los espaciamientos entre ánodos, también tienen un rol protagónico en el diseño catódico y será dimensionado en base a la cantidad de ánodos seleccionados y en su incidencia en la resistencia eléctrica del circuito eléctrico concebido.

Cabe señalar que los ánodos escogidos tendrán las siguientes dimensiones y pesos:

TABLA XV

**DIMENSIONES Y PESO DE LOS ANODOS
DE GRAFITO**

| Diámetro (mm) | Longitud (mm) | Peso (Lbs) |
|------------------|------------------|---------------|
| 101,6 | 2.032 | 70 |

Luego de haber calculado la masa anódica total requerida para la protección catódica, se procede a calcular el número de ánodos en función de la masa unitaria seleccionada.

Para este calculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$n = M/m$$

Donde:

M: Masa Total Requerida (2.691,8 Lbs)

m: Masa Unitaria Seleccionada (70 Lbs)

Entonces, se obtiene los siguientes resultados:

$$n = 2691,8 \text{ Lb} / 70 \text{ Lb}$$

$$n = 38,45 \rightarrow 39 \text{ ánodos}$$

Comprobación:

A partir de este momento lo que se pretende es verificar que el suministro de corriente que se ha diseñado sea capaz de difundirse a través de la superficie de los ánodos sin que supere el límite máximo de densidad ampérica especificado en este material que es el grafito.

Es decir que la densidad de corriente calculada debe ser menor o igual a la densidad de corriente máxima permisible del ánodo de grafito.

Por lo tanto:

$$i_{\text{REAL}} < i_{\text{MX}}$$

De acuerdo a valores obtenidos en el texto de referencias la densidad de corriente máxima permisible es 5,36 A/m².

Ecuación # 4

$$i_{\text{real}} = I / (n \times A_u) < 5,36 \text{ A/m}^2$$

Donde :

A_u = Area unitaria (m²)

n = Número de Anodos

I = Corriente (A)

Cálculo de Variables

Area unitaria:

$$A_u = \pi \times \varnothing \times L$$

$$A_u = 3.1416 \times 0,1016 \times 2,032$$

$$A_u = 0,6486 \text{ m}^2$$

Número de Anodos:

$$n = 39$$

Intensidad de Corriente:

$$I = 125,72 \text{ A}$$

Entonces procedemos a continuación al cálculo de la corriente real del diseño propuesto y se lo comparará con la i_{MX} :

Ahora, utilizando la ecuación # 4, tenemos:

$$i_{real} = 125,72 \text{ A} / (39 \times 0,6486 \text{ m}^2)$$

$$i_{real} = 4,99 < 5,36 \text{ A/m}^2 \text{ L.Q.Q.D.}$$

Comentarib:

Como se puede apreciar la densidad de corriente obtenida es inferior a la densidad de corriente máxima recomendada en este tipo de materiales, por lo tanto esta recomendación deja satisfecha nuestro requerimiento de corriente.

3.5 Requerimientos de Voltaje.

Ecuación # 5

$$V = I \times R$$

Donde:

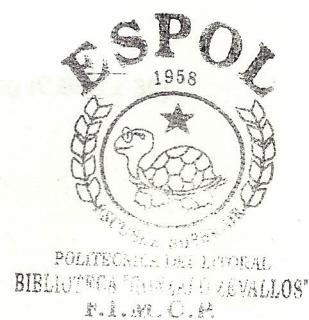
I = Intensidad de Corriente (125,72 A)

R = Sumatoria de Resistencias del Circuito (ohm-cm)

Cálculo de Variables:

Resistencias:

$$R_{TOTAL} = R_{cable} + R_{ánodo} + R_{cátodo}$$



Donde:

$$R_{\text{cable}} = 0,5 \text{ ohm / Km} \times 0,4 \text{ Km} = 0,2 \text{ ohm}$$

$$R_{\text{ánodo}} = R_{\text{sr}} + R_{\text{interna}}/n$$

Donde R_{sr} que es la resistencia del suelo se la calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$R_{\text{sr}} = [(0,00521 \times \rho_{\text{suelo}}) / (n \times L_r)] \times [2,3 \log 8L_r/d - 1 + 2L/S \times 2,3 \log (0,656 \times 39)]$$

Donde:

R_{sr} = Resistencia del terreno en ohm

ρ_{suelo} = Resistividad del terreno (Arena) = 150 ohm-cm

n = Número de ánodos es paralelo = 39

L_r = Largo del Relleno del ánodo = 8,62'

d_r = Diámetro del Relleno = 1'

S = Espaciamiento de los ánodos = 16,4042'

Ahora, utilizando la ecuación anterior y remplazando los valores ya indicados tenemos:

$$R_{\text{sr}} = 1,53 \times 10^{-2} \text{ ohm}$$

Ahora, procedemos a calcular la Resistencia interna en los lechos anódicos verticales:

$$R_{\text{interna}} = R_i / n$$

Pero R_i es igual a:

$$R_i = R_{RA} - R_R$$

Donde :

$$R_{RA} = [0,00521 \times \rho_R / L_A] \times [2,3 \log 8L_A/d_A - 1]$$

Así mismo:

$$R_R = [0,00521 \times \rho_R / L_R] \times [2,3 \log 8L_R/d_R - 1]$$

Para : $L_A = 6,66'$

$$d_A = 0,333'$$

$$\rho_R = 150 \text{ ohm-cm}$$

$$L_R = 8,62'$$

$$d_R = 1'$$

Luego de remplazar los respectivos de valores tenemos:

$$R_{RA} = 0,477 \text{ ohm}$$

$$R_R = 0,290 \text{ ohm}$$

Entonces :

$$R_{\text{interna}} = R_{RA} - R_R = 0,477 - 0,29 = 0,18 \text{ ohm}$$

Por lo tanto :

$$R_{\text{anodo}} = R_{SR} + R_I / n = 1,53 \times 10^{-2} + 0,18/39 = 2 \times 10^{-2} \text{ ohm}$$

$$R_{\text{anodo}} = 2 \times 10^{-2} \text{ ohm}$$

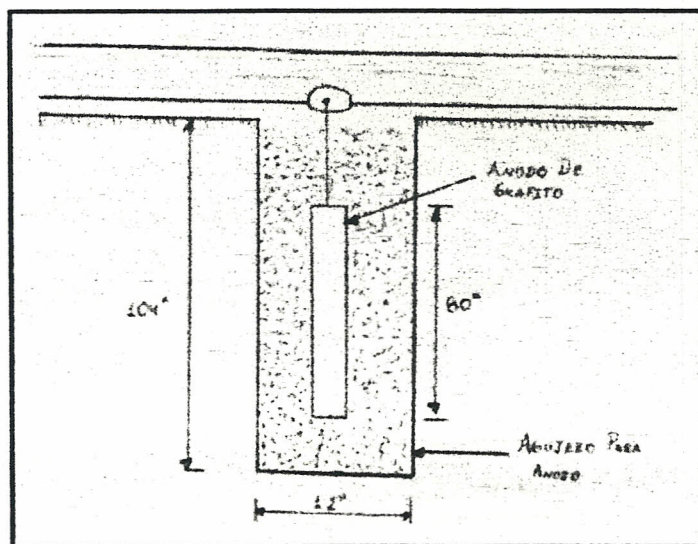


Figura 3.2 Esquema de ánodos en la arena

Ahora determinaremos la Resistencia del Cátodo mediante la siguiente ecuación:

$$R_{\text{catodo}} = \rho_{\text{acero}} \times L / A_T$$

Donde:

$$L = 8.000 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{acero}} = 18 \times 10^{-8} \text{ ohm-m}$$

$$A_{\text{transv.}} = 0,084 \text{ m}^2$$

Remplazando en la ecuación anterior tenemos:

$$R_c = 0,017 \text{ ohm}$$

Por lo tanto :

$$R_T = R_{\text{anodo}} + R_{\text{cable}} + R_{\text{catodo}}$$

Reemplazando:

$$R_T = (2 \times 10^{-2} \text{ ohm}) + (0,2 \text{ ohm}) + (0,017 \text{ ohm})$$

Por lo que:

$$R_T = 0,23 \text{ ohm}$$

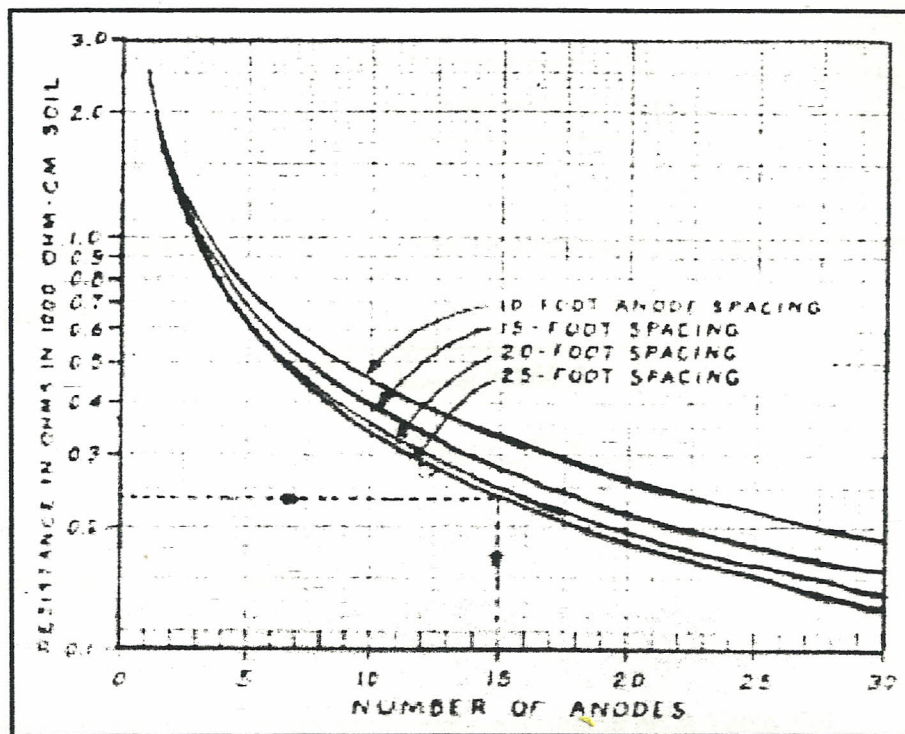


Figura 3.3 Número de ánodos vs. Resistividad del Terreno

Para calcular el Voltaje aplicamos la siguiente ecuación:

$$V_{TR} = (I_{TR} \times R) \times F$$

Donde:

$$I_{TR} = 150 \text{ Amperios}$$

$$R = 0,23 \text{ ohm}$$

$$F = \text{Factor de seguridad} = 1,5$$

Remplazando tenemos:

$$V_{TR} = 45 \text{ Voltios}$$

Las características nominales del Transformador Rectificador serán las siguientes:

$$I_{\text{nominal}} = 150 \text{ A}$$

$$V_{\text{nominal}} = 45 \text{ V}$$

Conclusión de diseño:

El diseño se basará en los parámetros expuestos en la Tabla XVI

TABLA XVI
PARÁMETROS DE DISEÑO

| | |
|---------------------------------|--|
| Material de los Anodos | Grafito |
| Vida útil de los ánodos | 13 Años |
| Densidad de Corriente | 50,50 mA/Año |
| Intensidad de Corriente Nominal | 125,72 A |
| Masa Anódica | 2691,88 Lbs |
| Masa de cada Anodo | 70 Lbs |
| Número de Anodos | 39 |
| Desgaste del Anodo | $D_{min} = 0,4 \text{ Lb/A-Año}$ $D_{med} = 1,4 \text{ Lb/A-Año}$ $D_{max} = 2,0 \text{ Lb/A-Año}$ |
| Resistencia del Anodo | $2,00 \times 10^{-2} \text{ ohm}$ |
| Resistencia del Cátodo | $2,22 \times 10^{-2} \text{ ohm}$ |
| Resistencia del Cable | 0,2 ohm |
| Corriente Requerida | 150 A |
| Voltaje Requerido | 45 Voltios |



Figura 3.4 Fuente de Energía

3.6 Materiales a Utilizar

Los materiales utilizados en este proyecto de Protección Catódica por Corriente Impresa son los siguientes : (12)

Anodos Inertes de Grafito

El ánodo seleccionado fue el de "Grafito" debido a sus cualidades de operación en medios acuosos y su resistencia a medios con altos porcentajes de cloruros.

Su composición química son las que a continuación se detallan:

TABLA XVII

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ANODO DE GRAFITO

| ELEMENTO | PORCENTAJE % |
|----------|--------------|
| Carbón | 99,08 |
| Ceniza | 0,20 |

TABLA XIX

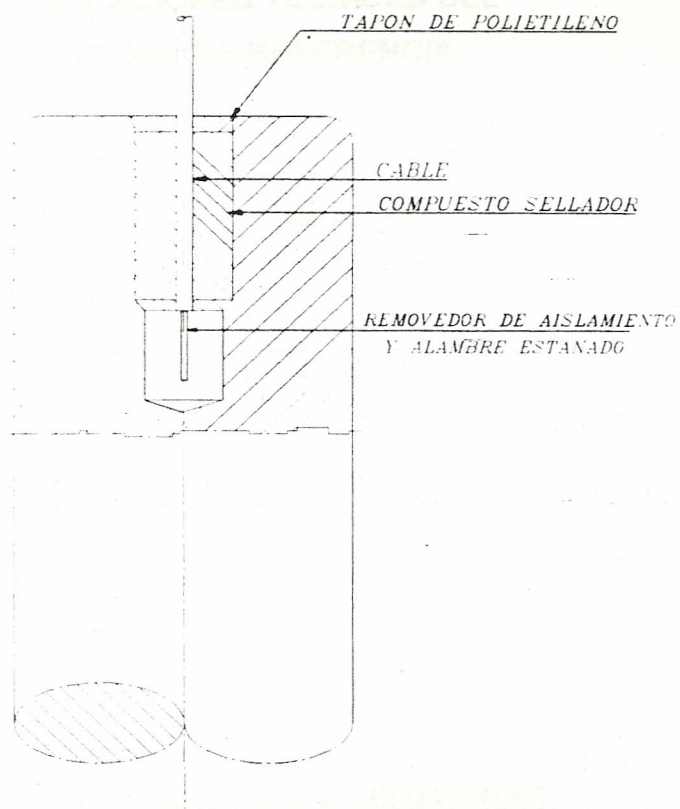


Figura 3.5 Anodo de Grafito

Electrodo Permanente de Referencia (Ag/AgCl)

El electrodo de referencia sugerido para este diseño fue el Permaceil 804, que está diseñado para ser usado en electrolitos con altos porcentajes de cloruros. Además, el uso de este electrodo de referencia es ideal para medir potenciales en tuberías, tanques y otras estructuras que se encuentren en áreas costeras.

TABLA XIX

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL
ELECTRODO DE REFERENCIA
DE Ag/AgCl

| Dimensiones (in) | | Peso (lbs.) | Estabilidad Eléctrica | Vida Util |
|---------------------|----|----------------|---|-----------|
| Ø | L | | | |
| 8 | 16 | 23 | ± 5 milivoltios con 8,0 Microamp. | 13 Años |

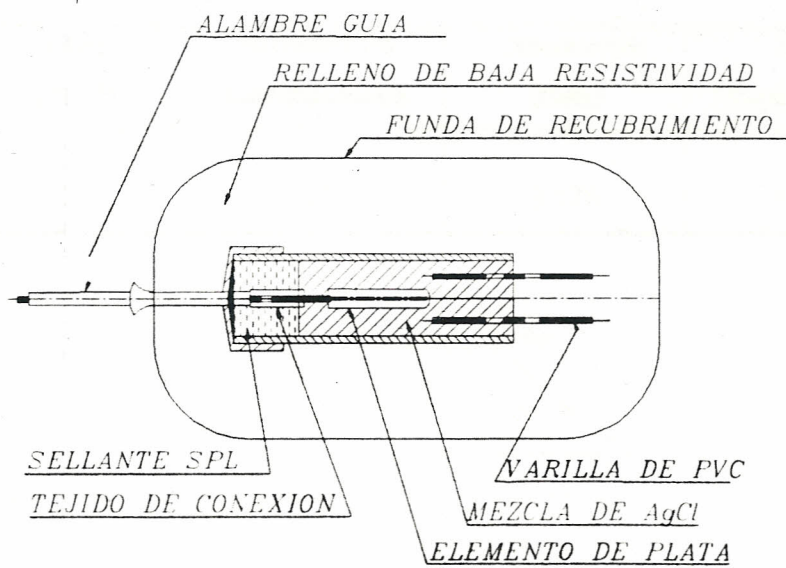


Figura 3.6 Electrodo de Referencia

Cable HMWPE 2/0

El cable HMWPE 2/0 (High Molecular Weight Polyethylene) posee en su interior conductores de cobre que permiten un flujo conveniente de corriente entre los ánodos y la tubería.

Su recubrimiento de polietileno permite proteger de manera eficaz el interior del cable. Las características del cable utilizado fueron las siguientes:

TABLA XX

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL CABLE HMWPE 2/0

| Area (mm ²) | Número de Conductores | Espesores (mm) | D.E. Nominal (mm) |
|----------------------------|--------------------------|-------------------|----------------------|
| 70 | 19 | 3,175 | 17,02 |

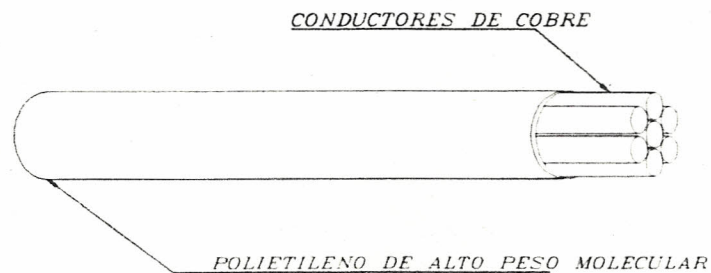


Figura 3.7 Cable HMWPE 2/0

Encapsulación Epóxica

La encapsulación está provista de todos los materiales necesarios para conducir la corriente necesaria que necesitan los ánodos. Cabe indicar que los Kits como se los conoce, son utilizados para proteger de la corrosión las uniones de los cables conductores con los del ánodo inerte.

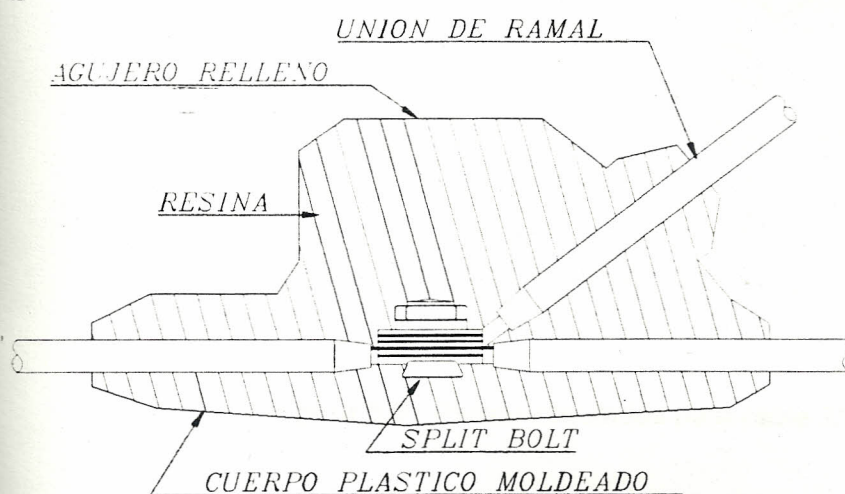


Figura 3.8 Kits de aislamiento en junta de cables eléctricos

Pernos (Burndy)

Estos pernos son utilizados en la conexión del cable al ánodo, su característica principal es su prolongada vida de servicio, están compuestos de cobre para permitir una alta conductividad hacia los ánodos.

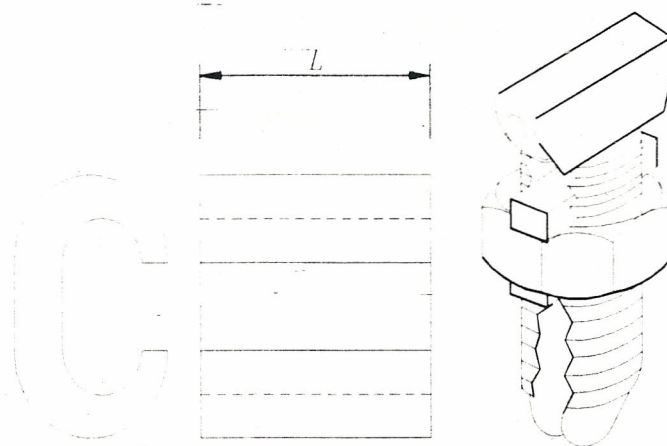


Figura 3.9 Pernos ranurados para cable 2/0

Cadweld Tipo CAHA

La unión del cable conductor con la tubería se lo realiza con el Cadweld tipo CAHA, este tipo de unión permite una sujeción permanente y confiable.

El Cadweld consta de varios componentes como a continuación se indican:

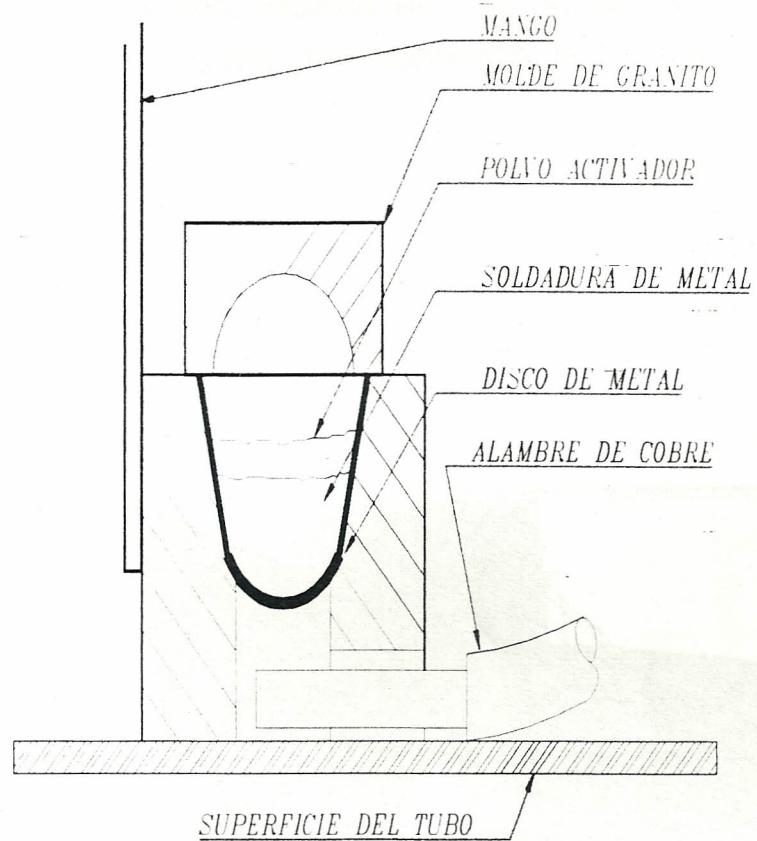


Figura 3.10 Soldadura Cadweld Tipo CAHA

Transformador Rectificador

El transformador en mención está diseñado para operar en ambientes y condiciones agresivas. Su particularidad especial es la de operar en áreas donde existan productos inflamables como: gases, aceites, petróleo.

TABLA XXI

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL
TRANSFORMADOR RECTIFICADOR

| Voltios (V) | Corriente (A) |
|----------------|------------------|
| 45 | 150 |

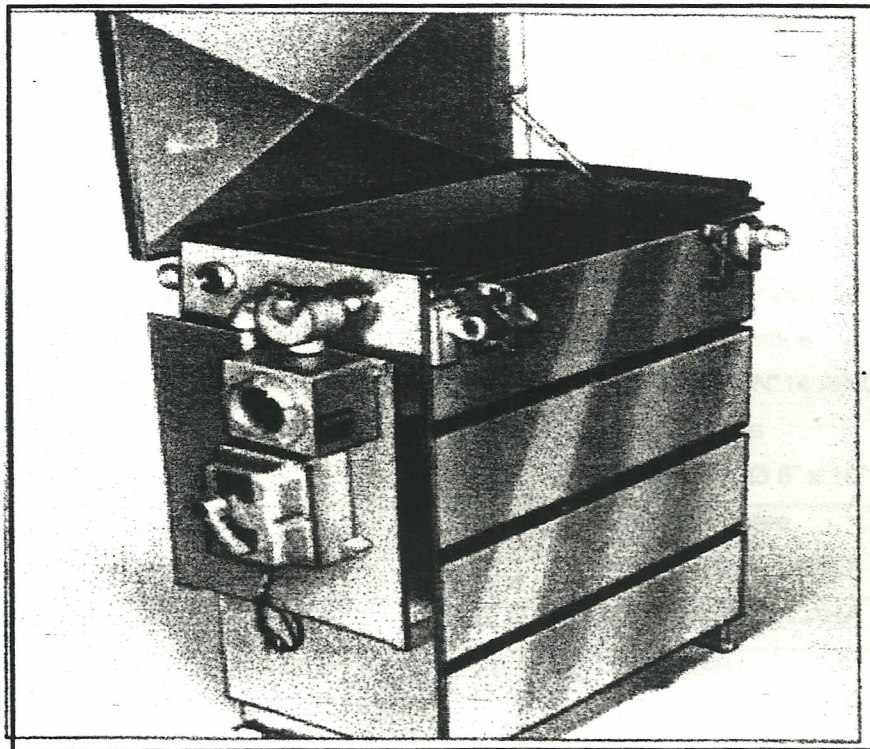


Figura 3.11 Transformador Rectificador

A continuación se presenta una tabla de cantidades y especificaciones de los materiales utilizados :

TABLA XXII
INVENTARIO DE MATERIALES Y EQUIPOS
A UTILIZAR

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | ESPECIFICACIONES |
|------|---|----------|---|
| 001 | Anodos de Grafito | 39 U | Tipo: 4x80in Peso: 70 Lbs Vida Util: 13 años |
| 002 | Cable para conexión al sistema Catódico | 400 m | AWG 2/0 (25 mm ²) |
| 003 | Electrodos permanentes de Ag/Ag Cl | 1 U | Modelo: Permaceil 804 Vida útil: 15 años Cable: 50 ft N°14 AWG Peso: 23 Lbs Dimensión: Ø 8" x 16" |
| 004 | Pernos Ranurados | 39 U | Material: Cobre Numeración: 6 AWG |
| 005 | Unión a Metal | 2 U | Cadweld Type CAHA |
| 006 | Encapsulación Epóxica con resina autofundente | 39 U | Tipo: 90-B1 |
| 007 | Transformador-Rectificador | 1 U | Caract.: Enfriamiento por aceite, Corriente de 150 A, y con un Voltaje de 240 V. |
| 008 | Kit de Junta Aislante | 2 U | -- |

CAPITULO 4

EVALUACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO

Capítulo 4

4. EVALUACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO.

4.1 Análisis Técnico Para Implementación del Sistema.

Al escoger el tipo de protección catódica a ser adoptado para una determinada estructura depende esencialmente de un análisis técnico-económico.

En este análisis deben ser considerados las ventajas y desventajas de cada sistema, el costo, la viabilidad técnica, la vida útil deseada, entre otros aspectos.

De modo general, después de los levantamientos de datos en el campo y de los datos de la estructura es que se podrá decidir la utilización de uno de los dos sistemas.

Para fines de ilustración, se describen las ventajas y desventajas de cada uno de estos sistemas.

Protección Catódica Por Anodos de Sacrificio:

Los ánodos de sacrificio son aplicables y efectivos donde los requerimientos de corrientes sean bajos (de 1,5 a 2 amp.), donde las estructuras a ser protegidas estén bien recubiertas y donde exista una baja resistividad del electrolito.

Ventajas y desventajas que tiene el uso de éste tipo de protección.

Ventajas:

- a) No se necesita una fuente externa de energía.
- b) Mínimos costos de mantenimiento luego de la instalación.
- c) Se disminuyen los problemas de interferencia con estructuras extrañas.
- d) Los costos de instalación son bajos.
- e) Utilización más eficiente de la corriente de protección.



Desventajas:

- a) Potencial impulsor limitado.
- b) La corriente de salida es limitada y baja.
- c) Limitaciones en la resistividad del electrolito.
- d) No aplicable para proteger tuberías de gran longitud, desnudas o pobremente revestidas.

Protección Catódica por Corriente Impresa :

El método más importante de aplicar protección catódica a estructuras metálicas enterradas, es mediante el uso de corrientes impresas, provenientes de una fuente exterior.

En este método la fuente de corriente eléctrica puede ser también un generador accionado a gas, un generador termoeléctrico, molinos de vientos, energía solar. Estos últimos métodos solo son utilizados en aquellas regiones donde no existen facilidades de corriente alterna.

En consecuencia nuestra discusión del tema se limitará al uso de rectificadores como fuente de corriente, ya que ellos constituyen, por gran mayoría, el sistema más utilizado en protección catódica.

Las principales ventajas y desventajas del método de protección catódica por corriente impresa son:

Ventajas :

- a) Posibilidad de utilizar elevados voltajes.
- b) Posibilidad de usar grandes corrientes.
- c) Posibilidad de aplicación en casi cualquier tipo de suelo y medio acuoso.
- d) Posibilidad de ser aplicado a estructuras desnudas o pobremente revestidas.
- e) Permite proteger estructuras grandes y muy extendidas.

Desventajas :

- a) Costos de instalación relativamente altos.

- b) Costos de mantenimiento considerables.
- c) Costos de la electricidad consumida.
- d) Problemas de interferencia con otras líneas cercanas.

Nota:

Por los puntos anteriormente expuestos se justifica nuestra elección de utilizar el método de Corriente Impresa debido a que la otra alternativa que es el método de Anodos de Sacrificio no le es posible proteger tuberías de gran longitud y a demás tiene limitaciones en la resistividad del electrolito, mientras que su par, el método de Corriente Impresa está diseñado específicamente para proteger grandes longitudes de estructuras enterradas o sumergidas y además con la posibilidad de aplicar grandes corrientes.

4.2 Factibilidad Económica.

El costo de la implementación de un sistema de protección catódica para las tuberías sumergidas en el Terminal Petrolero de Refinería Esmeraldas (TEPRE), es despreciable en relación al gran beneficio conseguido, y extremadamente bajo, situándose entre el 0,3% y el 0,5% del costo total de la construcción de las tuberías submarinas.



A continuación se detalla un análisis económico del diseño de Protección Catódica:

TABLA XXIII

**DETALLE DE COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN
DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA**

| Item | Componente | Unidad | Cantidad | Costo Unitario US \$ | Costo Total US \$ |
|------|--|-----------------|----------|-------------------------|----------------------|
| 1 | Transformador Rectificador | U. | 1 | 15.000 | 15.000 |
| 2 | Anodos de Grafito | U. | 39 | 800 | 31.200 |
| 3 | Cable AWG 2/0 | MT | 400 | 5 | 2.000 |
| 4 | Caseta de 2MT x 1,5MT | MT ² | 3 | 300 | 900 |
| 5 | Materiales Auxiliares | Global | | | 5.000 |
| 6 | Diseño del Sistema de Protección Catódica | Global | | | 5.000 |
| 7 | Kit de Junta Aislante | Global | | | 500 |
| 8 | Mano de Obra de Instalación | Global | | | 20.400 |

COSTO TOTAL

US \$ 80.000

Nota:

El costo total de la construcción del Oleoducto Submarino del Terminal Petrolero de Esmeraldas fue alrededor de \$ US 25'000.000, lo que nos indica

que el costo del Sistema de Protección Catódica alcanza el 0,33% del valor total de obra.

4.3 Estado de Pérdidas.

Los efectos inmediatos de una corrosión no controlada serán indudablemente los costos económicos y costos sociales.

Entre los costos económicos podemos distinguir dos clases:

1.- Costos Directos:

- Costo de mantenimiento Correctivo
- Costo de reposición o remplazo
- Costos de métodos de protección
- Salarios

2.- Costos Indirectos:

- Pérdida de producto o venta
- Parada de producción
- Pérdida de eficiencia
- Contaminación

3.- Costos Sociales:

- Accidentes
- Cambios ecológicos

Los costos por corrosión según el Índice de Hoar representan de 2 al 3% del PIB de un país. En nuestro país esto representa lo siguiente:

- 1995 = 430 millones de USD (2.3%)
- 1996 = 512 millones de USD (2.7%)

A continuación analizaremos los costos que por daños en las tuberías submarinas representaría dejar de exportar petróleo.

TABLA XXIV

**EXPORTACIÓN DE CRUDO ORIENTE A TRAVÉS DEL SISTEMA DE
TUBERÍAS DEL TEPRE**

| Mes | Grado API | Volúmen Total (barriles) | Valor Total US\$ |
|------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Enero | 25.2 | 5'822.112 | 69'418.860,28 |
| Febrero | 25.3 | 6'764.556 | 71'055.613,09 |
| Marzo | 25.1 | 5'299.847 | 49'212.940,57 |
| Abril | 25.3 | 5'846.609 | 54'219.872,39 |
| Mayo | 25.4 | 7'175.153 | 61'528.493,49 |
| Junio | 25.3 | 5'317.539 | 44'061.728,27 |
| Julio | 25.3 | 4'916.952 | 41'605.828,77 |
| Agosto | 25.0 | 6'716.583 | 54'410.872,75 |
| Septiembre | 24.9 | 4'710.517 | 47'787.191,72 |
| Octubre | 24.7 | 716.390 | 8'022.992,94 |

Datos tomados de la revista PETROSUCESOS a Octubre de 1998

Tomando como referencia los valores totales de las exportaciones del mes de Febrero (71'055.613,09 US\$), que fue el mes en el que se produjo el derrame de petróleo y un incendio de gran magnitud en la ciudad de Esmeraldas, todo esto a consecuencia de la falla del material de la tubería debido a la CORROSION, podemos advertir que el costo de las perdidas por la no exportación del producto, sería el siguiente:



TABLA XXV

**CÁLCULO DE PERDIDAS POR NO EXPORTACIÓN
DE PETRÓLEO**

| PERDIDA | US\$ | US\$ |
|----------|---------------|------------|
| Por día | 2'537.736,182 | -- |
| Por hora | -- | 105.739,01 |

Como hemos podido darnos cuenta, el costo del diseño y montaje de un "Sistema de Protección Catódica" se asemejaría al costo por la no exportación de petróleo en una hora, y si indicamos que este costo se lo realiza cada 13 años, que es el tiempo de vida útil para el cual se lo diseño, resultará insignificante la inversión en comparación con Las perdidas ocasionadas.

He aquí la importancia de que PETROECUADOR tenga debidamente protegida estas líneas submarinas.

4.4 Inspección y Mantenimiento del Sistema.

Los sistemas de protección catódica necesitan de una constante y permanente inspección para así verificar que todo funciona normalmente. La necesidad de

inspección está íntimamente relacionada con el hecho de que el sistema de protección no debe salir de operación, por menor que sea el periodo, porque si esto ocurre el proceso de corrosión podrá ser restablecido.

Los sistemas por Corriente Impresa necesitan de un control más severo que el de protección galvánica o ánodos de sacrificio, por tratarse de equipos eléctricos, donde las fallas pueden ser más frecuentes. Las principales causas de paralización de equipos del Sistema de Corriente Impresa son:

- Falta de energía.
- Interrupción operacional causada por dispositivos de protección en virtud de sobrecargas, sobretensión o descarga atmosférica.
- Falla del circuito externo.
- Falla del circuito interno, inclusive los ánodos.

En sistemas de protección combinados con drenajes, especial atención debe ser dada a los equipos de drenajes por la importancia que ellos tienen. Casi siempre estos equipos constituyen el "corazón" del sistema de control de la corrosión.

Frecuencia de Inspección

Cuando estos sistemas están instalados en estructuras exentas de corrientes de interferencias, pueden también tener frecuencias de inspección en intervalos mayores. Como recomendación, puede ser adoptado el siguiente esquema:

- Verificación semanal de las condiciones de salida de los rectificadores.
- Inspección del lecho por ensayo no destructivo, para verificar la integridad de los ánodos y sus interconexiones, lo que deberá ser hecho a intervalos de dos años o menos, dependiendo de los valores encontrados para las corrientes y para los potenciales.
- Medición trimestral del potencial estructura-medio.

La frecuencia de inspección en sistemas sujetos a corrientes de interferencia puede ser sensiblemente disminuida a través del uso de sistemas sobredimensionados.

En la actualidad, existen sistemas que permiten la verificación más expedita del funcionamiento de los rectificadores y equipamientos de drenajes. Estos sistemas constan de indicadores instalados en los propios rectificadores y que dejan de funcionar cuando un rectificador sale de operación.

La verificación se la realiza por medio de un sensor instalado en un avión o un helicóptero, que sobrevuela la línea de la tubería, dentro de una periodicidad establecida. Cuando se constata que un cierto rectificador está fuera de operación, providencias son tomadas con el fin de corregir la falla.

También existen sistemas más sofisticados que incluyen sensores remotos en los rectificadores en puntos de pruebas preseleccionados, los que nos permiten obtener un perfil de potenciales del oleoducto y las condiciones de salida de los respectivos rectificadores. Las señales son enviadas a una estación central por medio de cables especiales donde se puede registrar aquellas condiciones de acuerdo con la periodicidad que se desea, por ejemplo, con la expedición de un informe computarizado cada dos horas.

Levantamiento de datos de campo para la inspección

Los levantamiento de campo a ser efectuados para efecto de la inspección y acompañamiento incluyen, entre otros, los siguientes:

- a. Inspección de Rectificadores.-** Verifíquese su funcionamiento general, anotando voltaje y amperaje de salida y el número de horas de operación. El paso siguiente será medir la corriente y la tensión de alimentación de manera que podamos conocer la eficiencia del equipo por la relación de la energía de salida con la energía de entrada. La medición de la corriente de entrada permite medir la eficiencia rectificadores trifásicos. Se debe

verificar las condiciones generales de la caja, como tasas de ventilación, dispositivos de seguridad, oxidación en los contactos eléctricos.

b. Inspección y Equipamiento de Drenajes.- Verifíquese el funcionamiento general del equipo, anotando sus condiciones de operación. Lo siguiente será observar el estado de los contactos eléctricos, los dispositivos de protección y de otros elementos, dependiendo del tipo de equipo.

c. Inspección del Lecho de Anodos.- Inicialmente, se hace un croquis del lecho y, utilizándose el método de medición de potencial con dos electrodos de referencia, se verifica el funcionamiento de cada ánodo. El método de medición con dos electrodos de referencia consiste en lo siguiente: Se coloca un electrodo de referencia de Ag/ClAg fija en un punto designado (situado a 100 m de distancia del lecho), con un segundo electrodo, se recorre toda la extensión del lecho, haciéndose una medición de potencial. Se observará que el potencial va subiendo a medida que se aproxima a cada ánodo, presentándose un pico en cada uno que estuviera funcionando. Cualquier ánodo que estuviera fuera de operación no representará un pico, lo identificará una situación anormal.

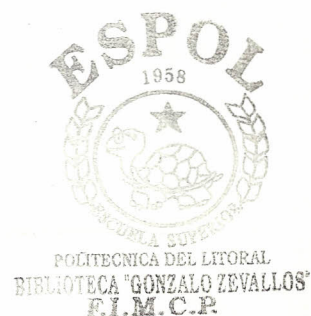


TABLA XXI

FORMULARIO DE INSPECCIÓN DEL RECTIFICADOR

| EMPRESA: | REGISTRO DE INSPECCIÓN DEL RECTIFICADOR | REG. N RECTIFICADOR N..... |
|---|--|-------------------------------------|
| <p>LOCALIZACION:</p> <p>CONDICIONES NOMINALES: V..... I..... Fases</p> <p>CORRIENTE DE ALIMENTACION: Fase A Amperes Fase B Amperes Fase C Amperes</p> <p>CONDICIONES DE SALIDA: TENSION Voltios CORRIENTE Amperios</p> <p>POSICION DE TAPES: GRUESO FINO</p> <p><u>CONDICIONES FISICAS</u></p> <p>Desarmar el rectificador y verificar los siguientes Itens:</p> <p>Conexiones externas y cables</p> <p>Conexiones internas.....</p> <p>Temperatura de placas</p> <p>Dispositivos de protección</p> <p>Estado de limpieza</p> <p>Estado de instrumentos</p> <p>Apariencia interna</p> <p><u>OBSERVACIONES:</u></p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> | | |
| <p>FECHA/...../..... RESPONSABLE</p> | | |

d. Mediciones de potenciales.- Las mediciones de potencial estructura/medio son efectuadas a lo largo de la estructura en puntos predeterminados. Los potenciales devén ser medidos en relación al electrolito próximo a la estructura y con voltímetros de alta sensibilidad (con resistencia interna superior o cerca de 50.000 ohm/volt). Todos los valores de potencial devén ser anotados para análisis global de la inspección efectuada.

Registro de las Inspecciones

Los registros de las inspecciones constituyen el historial operacional del sistema.

El crecimiento del historial de cada equipo depende esencialmente de la frecuencia de las inspecciones. Es importante señalar, que cualquier anomalía habida en el equipo debe ser debidamente documentada.

Para registrar los potenciales, es común realizar gráficos o tablas. Para la confección de gráficos los potenciales de las tuberías (oleoductos), ya existen algunos patrones de uso corriente.

El archivo de inspección de sistemas de protección catódica, como cualquier otro archivo de inspección, debe ser práctico y objetivo, permitiendo obtener

determinada información, relativa a un cierto equipo, de forma rápida y precisa.

Mantenimiento de Sistemas de Protección Catódica

El mantenimiento de los sistemas de protección catódica es consecuencia directa de los problemas detectados durante las inspecciones a lo largo de su periodo de operación.

Los sistemas de corriente impresa, los trabajos de mantenimiento recaen principalmente sobre los rectificadores, los cuales requieren, por algunas veces cambios de fusibles.

Cuando se usa rectificadores inmersos en aceite, este debe ser examinado periódicamente, por ejemplo cada seis meses, de tal modo que se pueda predecir su sustitución en el momento apropiado.

En lo que concierne a los ánodos inertes en las instalaciones marítimas, estos pueden presentar defectos o daños en las conexiones. Estos problemas deben ser solucionado de inmediato para no comprometer la eficiencia del sistema y, consecuentemente, la integridad de las estructuras.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Capítulo 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones

1. El Sistema de Protección Catódica sugerido, se constituye en la única técnica capaz de detener una corrosión ya iniciada en las tuberías y que ayudará a disminuir riesgos de posibles colapsos dado el periodo de vida que poseen.
2. El medio electrolítico debe ser considerado como altamente agresivo para las tuberías submarinas instaladas en el Terminal Petrolero de Refinería Esmeraldas.
3. El material del ánodo utilizado será de Grafito, debido a las cualidades que posee para trabajar en medios altamente agresivos, tal como el de agua de mar que contiene iones cloruros.

4. El costo del diseño y de la instalación del S.P.C. no supera el 0,33% del costo total de las instalaciones submarinas.

5.2 Recomendaciones.

Se presentan algunas recomendaciones prácticas sobre detalles de instalación, puesta en operación y de mantenimiento del sistema catódico:

1. El Plan de Contingencia planteado deberá ponerse en práctica cada cierto periodo de tiempo a través de simulacros.
2. Debe evitarse el anclaje de embarcaciones artesanales y de cualquier tipo en los alrededores de las instalaciones, para evitar problemas de deslizamiento de las tuberías
3. Los ánodos serán instalados, en posición vertical a una profundidad media de 4 mt.
4. Es importante tener presente que el aislamiento de las uniones cable-cable, garantice que la unión sea lo mas hermética posible de tal forma que no exista posibilidad de acceso de la humedad hacia la unión de los cables; de no darse esta recomendación en corto tiempo se producirá la corrosión de los cables con el consiguiente perjuicio del sistema catódico, pues se interrumpirá el flujo de la corriente de protección.



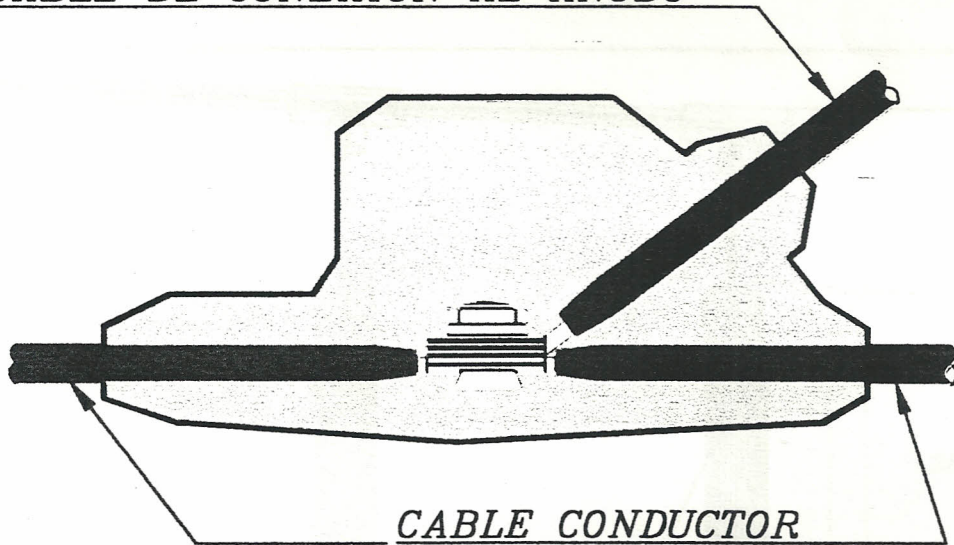
5. Será necesario que las tuberías no pierdan la corriente eléctrica hacia otras estructuras mediante el sistema de aislamiento a través de las juntas: De darse este caso la vida del sistema catódico notablemente.
6. Las pruebas de polarización deberán ser controladas y registradas en tablas convenientemente elaboradas para el efecto.
7. En caso extremo que se este generando demasiada corriente de protección, será necesario intercalar un shunt eléctrico en la caja de conexión eléctrica que une el cable cabezal proveniente de los ánodos con la tubería.
8. Cuando las lecturas de potenciales, realizadas con electrodo de Ag/AgCl y voltímetro de alta impedancia interna arrojen valores inferiores a -800 mV, puede ser síntoma que el efecto protector halla terminado. En este caso será necesario considerar el recambio de los ánodos instalados.
9. Cuando el sistema entre operación en forma definitiva, se recomienda que se realicen lecturas trimestrales y registrar estas lecturas en un archivo y evidenciar estadísticamente el comportamiento de la protección de las tuberías.

ANEXOS

PLANOS DE DETALLE

DETALLE C
DETALLE B

CABLE DE CONEXION AL ANODO

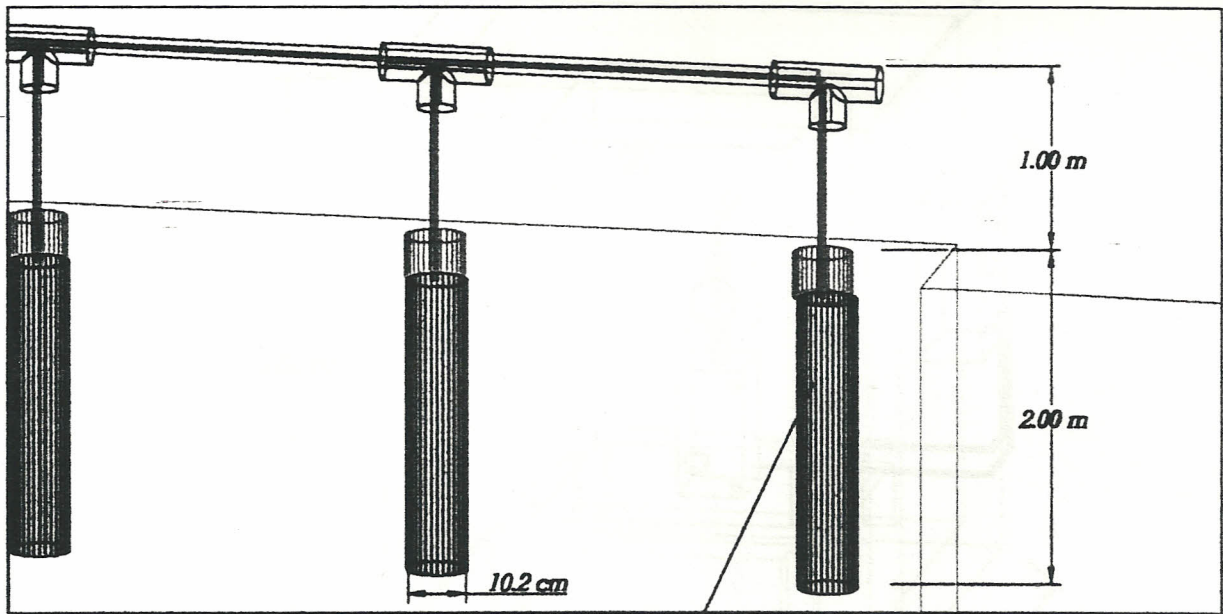


Encapsulación Epóxica

| | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| ESPOL | | | | |
| PROYECTO: DISEÑO DEL SISTEMA CABLEADO PARA LAS LAMINAS TERMINALES DEL TERMINAL PUNTERO DE MOTORA GENERALAS | | | | |
| CONVENE: [] | | | ESCALA: [] | |
| | | | LAMINA: [] | |
| DISEÑO: [] | DESUJO: [] | REVISÓ: [] | APROBÓ: [] | FECHA: [] |

DETALLE C

ESPOL



Anodo de Grafito

ESPOL

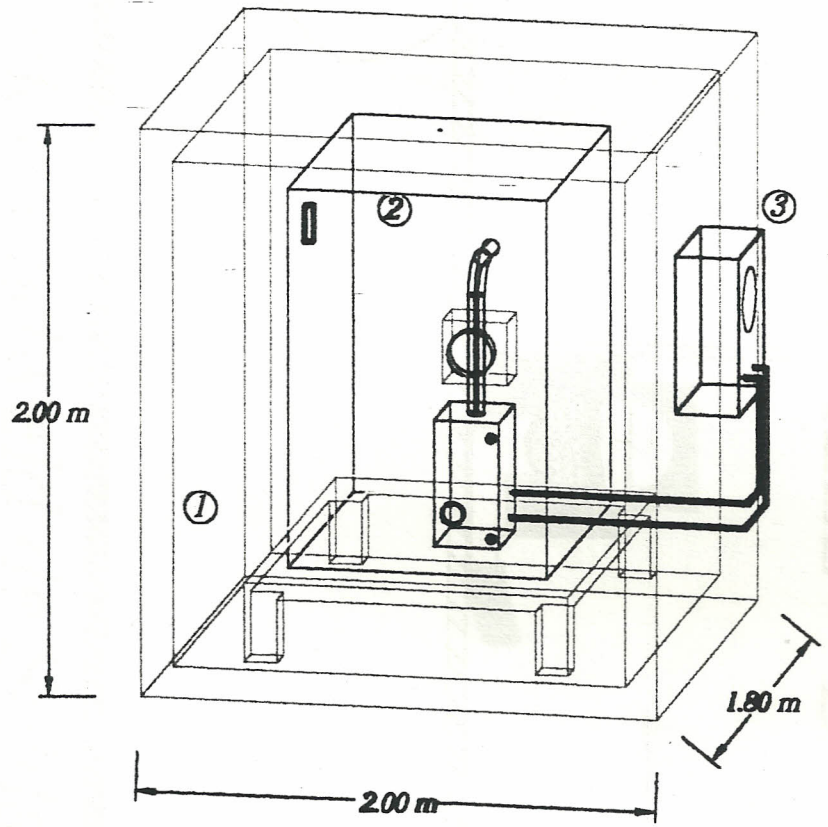
PROYECTO:
DISEÑO DEL SISTEMA CÁTODICO PARA LAS LINEAS SUBMARINAS DEL
TERMINAL PETROLERO DE SUPERFICIA GENERALAS

CONTIENE:
DETALLE C

ESCALA:
LAMINA:

| DISEÑO: | DIBUJO: | REVISO: | APROBO: | FECHA: |
|---------|---------|---------|---------|--------|
| | | | | |

DETALLE D

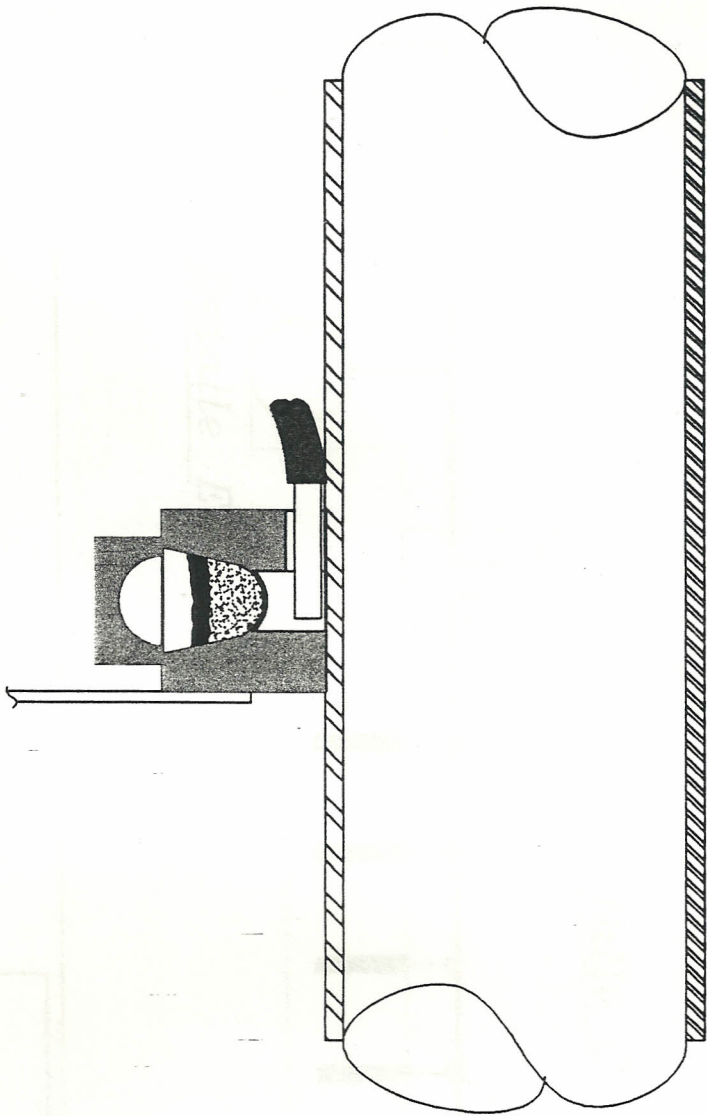


- ① CASETA
- ② RECTIFICADOR
- ③ MEDIDOR

| | | | | |
|--|----------|--------------------|------|--------|
| ESPOL | | | | |
| PROYECTO: DISEÑO DEL SISTEMA CONTROL PARA LAS ZONAS DEBENTAS DEL SERVICIO NACIONAL DE ELECTRICIDAD | | | | |
| CATEDRA: DETALLE D | | ESCUELA: LABOR: | | |
| NOMBRE: | CARRERA: | SEMESTRE: | AÑO: | FECHA: |
| | | | | |



DETALLE E



Union Cadweld de Soldadura

ESPOL

PROYECTO:
DISEÑO DEL SISTEMA CATÓDICO PARA LAS LINEAS SUBMARINAS DEL
TERMINAL PETROLERO DE MEXICO, S.A.

CONTIENE:
DETALLE F

ESCALA:

LAMINA:

DISEÑO:

DIBUJO:

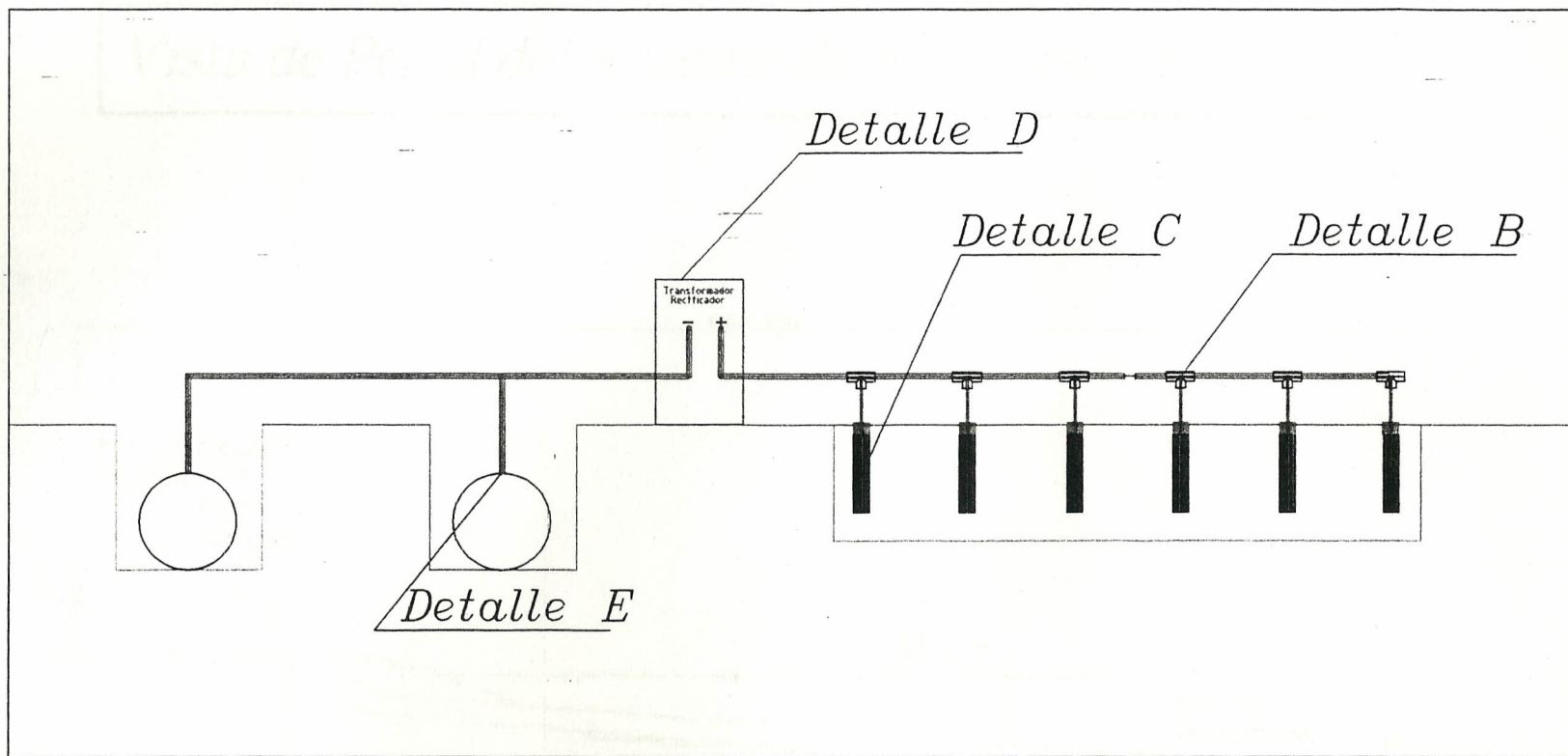
REVISO:

APROBADO:

FECHA:

Detalle A

Vista en Conjunto del S.P.C.



ESPOL

PROYECTO:
DISEÑO DEL SISTEMA CATÓDICO PARA LAS LINEAS SUBMARINAS DEL
TERMINAL PETROLERO DE REFINERIA ESMERALDAS

CONTIENE:
VISTA EN CONJUNTO DEL S.P.C.

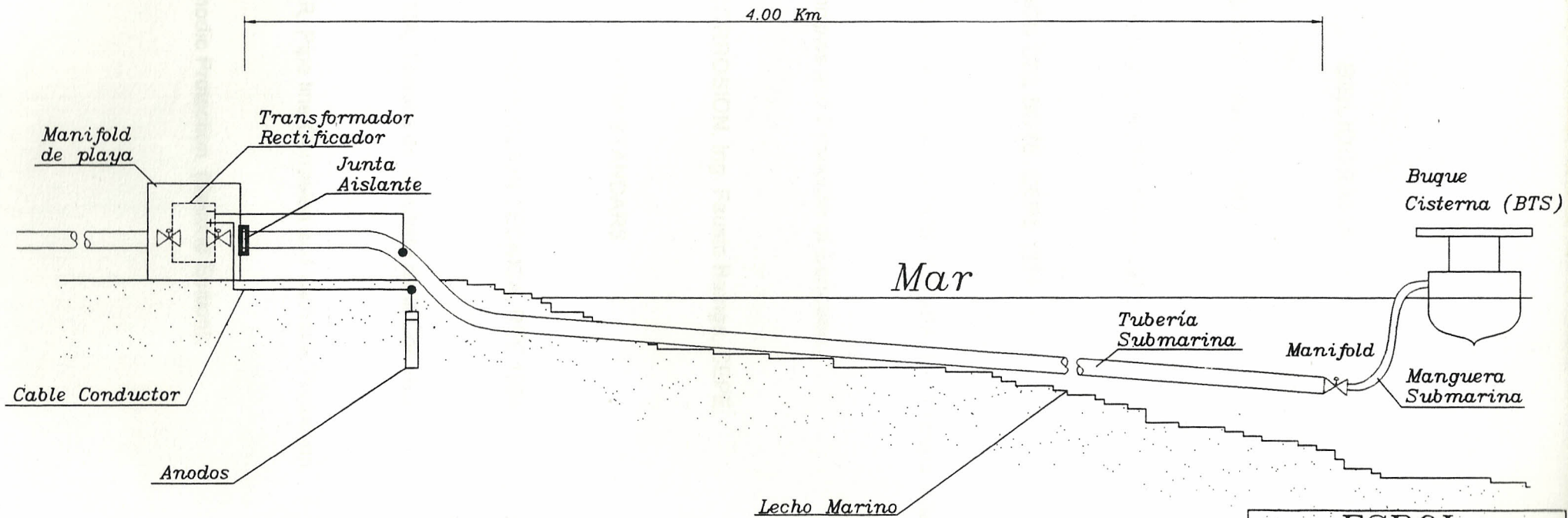
ESCALA:

LAMINA:

| DISEÑO: | DIBUJO: | REVISO: | APROBO: | FECHA: |
|---------|---------|---------|---------|--------|
| | | | | |

Anexo A2

Vista de Perfil del Sistema de Proteccion Catodica



ESPOL

PROYECTO:
DISEÑO DEL SISTEMA CATODICO PARA LAS LINEAS SUBMARINAS DEL
TERMINAL PETROLERO DE REFINERIA ESCOBALDAS

| | |
|--|--------------------|
| CONTIENE: VISTA DE PERFIL DEL SISTEMA | ESCALA: LAMINA: |
|--|--------------------|

| | | | | |
|----------|---------|---------|---------|--------|
| DISERNO: | DIBUJO: | REVISO: | APROBO: | FECHA: |
|----------|---------|---------|---------|--------|

BIBLIOGRAFÍA

1. REVISTA PETROSUCESOS , Abril de 1987.
2. MANUAL DE INSTALACION DEL SOTE, CEPE 1971.
3. MANUAL DE OPERACIÓN DEL SOTE, CEPE 1971.
4. PLAN DE CONTINGENCIA PARA INCENDIOS. SUIMBA, Ing. Richard Villacís.
5. DENNY A. JONES, Principles and Protection of Corrosion.
6. FUNDAMENTOS DE CORROSION, Ing. Fausto Barriga, CEPE.
7. ASTM. ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS
8. REPORTES DE DPTO. DE INSPECCION TECNICA, REE 1994
9. ALDO CORDERO DUTRA, Técnica de Combate de la Corrosión.
10. MARSHALL E. PARKER, Pipe line Corrosion and Cathodic Protection.
11. JHOM MORGAN, Cathodic Protection (Second Edition).

12. GUIA HARCO, The complete source for corrosion control materials.