



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**CARRERA
INGENIERIA ELECTROMECHANICA**

TRABAJO DE TESIS

**“ DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN
CATÓDICA CONTRA LA CORROSION EN TANQUES
SUBTERRÁNEOS DE ALMACENAMIENTO DE
COMBUSTIBLE**

AUTOR

SEBASTIÁN SÁNCHEZ CHAMBA

DIRECTOR

ING. DARWIN TAPIA PERALTA

**LOJA - ECUADOR
2004**

CERTIFICACIÓN

Ing. Darwin Tapia Peralta.

DIRECTOR DE TESIS.

CERTIFICA

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de Tesis de Grado, en su proceso de investigación bajo el Tema: “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA CONTRA LA CORROSION EN TANQUES SUBTERRÁNEOS DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE**” previo a la obtención del título de Ing Electromecánico, Realizado por el Sr. Egdo. **Sebastián Sánchez Chamba** la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que utilizamos su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, noviembre de 2004

Ing. Darwin Tapia Peralta

Director de Tesis

DECLARACION DE AUTORIDAD

Yo.

Sebastián Sánchez Chamba , autor del presente trabajo de Tesis autorizo a la Carrera de Ingeniería Electromecánica de él Área de Energía, Industrias y Recursos Naturales no Renovables, a hacer uso del mismo, con la finalidad académica que este estime necesario

Sebastián Sánchez Chamba

DEDICATORIA

El trabajo aquí realizado es sin lugar a duda un gran paso a una etapa como profesional por consiguiente el presente trabajo tiene una singular importancia, lo que me lleva a dedicarlo de manera muy especial a:

A Laura mi madre quien con su sacrificio y abnegación es a cual le debo el cumplir mi meta que a la vez es suya también

A mi hija Valeria quien a pesar de su corta edad se ha constituido en el pilar de mi existencia y es quien día a día sabe apoyarme y darme animo para alcanzar lo propuesto

.

.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar un agradecimiento a Dios por haberme dado fuerzas para llegar a cumplir esta meta.

Un agradecimiento muy especial al Ing. Darwin Tapia Peralta director del presente trabajo, quien de manera desinteresada a supervisado la realización del mismo.

De igual forma al Dr. Alberto Velázquez del Rosario tutor de tesis en la republica de Cuba por su disposición y desinteresada ayuda a el desarrollo de este trabajo.

A mis Padres por ser los propulsores de la metas planteadas
A Valeria fuente de animo para alcanzar lo propuesto

A las personas que de una u otra manera me han dado su apoyo a lo largo de mi formación como profesional.

A todos

GRACIAS

RESUMEN

El trabajo ha continuación expuesto esta enfocado a buscar una nueva alternativa de lucha contra la corrosión capaz de ser aplicable a nuestro medio.

Con la culminación de el presente se da ha conocer la metodología de calculo y diseño de un sistema de protección catódica por ánodos de sacrificio aplicable a la estación de servicio EL PORTAL en la ciudad de Loja, en lo tanques subterráneos de almacenamiento de combustible.

Se ha llegado a determinar los factores que influyen negativamente en el proceso corrosivo que ocurre en los tanques objetos de estudio.

Con ello se realiza una adecuada selección de el material anódico a utilizar para una adecuada protección catódica en los tanques.

Al concluir el estudio realizado se ejecuta una valoración económico-social a fin de establecer un lineamiento de su alcance tanto social y ambiental, además de su costo económico.

SUMMARY

The work has exposed continuation this focused to look for a new fight alternative against the corrosion able to be applicable to our means.

With the culmination of the present it is given he/she is necessary to know the methodology of I calculate and I design of a system of cathodic protection for anodes of applicable sacrifice to the station of service THE PORTAL in the city of Loja, in the underground tanks of storage of fuel.

It has been ended up determining the factors that influence negatively in the corrosive process that happens in the tanks study objects.

With he/she is carried out it an appropriate selection of the material anodic to use for an appropriate cathodic protection in the tanks.

When concluding the carried out study a socio-economic valuation it is executed in order to establish a limit of their social and environmental so much reach, besides their economic cost.

CAPITULO I

CAPITULO II

CAPITULO III

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INDICE

CAPITULO I

MARCO TEORICO-METODOLOGICO

1.1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	1
1.2 ESTADO DEL ARTE	3
1.3 MARCO CONTEXTUAL	
1.3.1 Situación Problemática(Problematización).....	3
1.3.2 Problema científico.....	7
1.3.3 Hipótesis.....	7
1.3.3.1 Hipótesis General.....	7
1.3.3.2. Hipótesis Específicas.....	7
1.3.4. Objetivos.....	7
1.3.4.1 Objetivo de Trabajo (General).....	7
1.3.4.2Tareas de trabajo (Objetivos específicos).....	8

CAPITULO II

2.1 Fundamentos Básicos sobre Corrosión	
2.1.1. Aspectos generales sobre corrosión	9
2.1.2. Formas de la corrosión	10
2.1.2.1 Según Medio:.....	10
2.2.2.2Según Forma:	10
2.1.3 Electroquímica de la corrosión.....	12
2.1.3.1 Definición.....	12

2.1.4. Fundamento de la Corrosión.....	13
2.1.4.1 Termodinámica: diagramas de Pourbaix	13
2.2 Protección anticorrosión.....	17
2.2.1 Tipos de protección	17
2.2.1.1. Protección pasiva	18
2.2.1.2. Protección activa	19
2.2.1.3. Protección catódica	19
2.2.2. Fundamentos Básicos sobre protección Catódica	20
2.2.2.1. Definición de Protección Catódica.....	21
2.2.2.2. Fundamento de la Protección Catódica	21
2.2.2.3. Como trabaja la protección Catódica.....	22
2.3. Sistemas de protección catódica.....	23
2.3.1. Protección por ánodos de sacrificio.	23
2.3.1.1. Campos de utilización de los ánodos de sacrificio	24
2.3.1.2. Ánodos enterrados	26
2.3.2. Protección catódica por corriente impresa	27
2.3.2.1. Fuentes de corriente	28
2.3.2.2. Ánodos auxiliares	29
2.3.2.3. Propiedades ánodos auxiliares:.....	32
2.4 Criterios de Protección Catódica.....	34
2.4.1. Introducción.....	34
2.4.2. Resistividad del terreno	35

2.4.2.1. Efecto del ph.....	36
2.4.2.2. Potencial red-ox.....	37
2.4.3. Factores que afectan la resistividad del suelo.....	38
2.4.3.1. Influencia de la temperatura:.....	38
2.4.3.2. Influencia de la humedad:.....	38
2.4.3.3. Efecto del contenido de sales:.....	39
2.5. Características de Combustibles	39
2.5.1 Gasolina	40
2.5.1.1. Componentes	40
2.5.1.2. Características	42
2.5.2. Diesel	44
2.5.2.1. Definición	45
2.5.2.2. Componentes del diesel.....	41

CAPITULO III

3.1 Obtención de los resultados.....	48
3.1.1. Introducción.....	48
3.2. Desarrollo	
3.2.1. Características del medio circundante.....	48
3.2.1.1. Dimensiones de los tanques.....	49
3.2.2. Cálculo de superficie a proteger	50
3.2.3. Corriente de protección.	51
3.2.4. Selección del ánodo mas adecuado	53
3.2.5 Cantidad de ánodos.	54
3.2.6. Instalación del sistema	55
3.2.7. Inspección y control.	57

CAPITULO IV

VALORACION AMBIENTAL Y ECONOMICA

4.1. VALORACION ECOLOGICA Y AMBIENTAL

4.1.1. Introducción 59

4.1.2. Incidencia de la corrosión sobre el medio ambiente 59

4.1.2.1. Formas de incidencia en el medio ambiente 60

4.1.3. Efecto de protección catódica 62

4.1.4. Monitoreo de tanques en servicio 63

4.1.5. Información a la comunidad 64

4.1.6. Impacto ambiental de la instalación de P.C. en los tanques de la Estación de Servicio El Portal 64

4.2. Valoración económica..... 65

4.2.1. Introducción..... 65

4.2.2. Gastos de obra civil 65

4.2.3. Gastos de instalación del sistema propuesto..... 66

CONCLUSIONES 68

RECOMENDACIONES 69

BIBLIOGRAFIA. 70

ANEXOS 72



CAPITULO I

MARCO TEORICO-METODOLOGICO

1.1 Introducción y Antecedentes

Uno de esos enemigos mas terribles que tiene toda maquinaria, estructura metálica, en fin todo artefacto ya sea industrial o domestico que este construido de una u otra manera de partes metálicas es la **CORROSIÓN** este efecto que a la larga destruye edificaciones enteras y se vuelve un verdadero problema por el hecho de que acorta de gran manera su vida útil.

La palabra **CORROSIÓN** evoca en muchas personas la imagen tan conocida de la "herrumbre", propia de los metales ferrosos, como si sólo el hierro fuera susceptible de presentar este fenómeno.

En realidad, la corrosión es la causa general de la alteración y destrucción de la mayor parte de los materiales naturales o fabricados por el hombre. Si bien esta fuerza destructiva ha existido siempre, no se le ha prestado atención hasta los tiempos modernos, como efecto de los avances de la civilización en general y de la técnica en particular. El desarrollo de los métodos de extracción y uso de los combustibles, muy especialmente del petróleo, así como la expansión de la industria química, han modificado la composición de la atmósfera de los centros industriales y de las aglomeraciones urbanas.

La producción de acero y la mejora de sus propiedades mecánicas han hecho posible su empleo en los dominios más variados. Desgraciadamente, el desarrollo en la utilización de los productos siderúrgicos va acompañado, paralelamente, de un aumento en el tributo que cada año se paga a la corrosión. Para tener una pequeña idea de lo que esto pueda suponer, sépase que aproximadamente un 25% de la producción anual de acero es destruida por la corrosión, incluso el derrumbe de puentes, son algunos de los problemas con los cuales se



encuentra el hombre. Nada metálico parece ser inmune a este tipo de acontecimientos.

En la actualidad existen muchos medios anticorrosivos entre ellos esta los revestimientos anticorrosivos pero estos tienen sus pro y contras por ejemplo:

El uso de revestimientos protectores está encontrando un profundo y amplio interés en la ciencia y en todos los mercados en general, a través de un incremento en la exigencia, por una parte calidad total, superación de prestaciones, larga y predecible vida en servicio; y por la otra abaratando precios, fácil aplicación y respeto al medio ambiente..

Muchos revestimientos son composite, multicapa, incluyendo un recubrimiento metálico (zinc, aluminio, otros metales o aleaciones), un pretratamiento químico (baño fosfátate, y/o promotores de adherencia), un conjunto de capas orgánicas poliméricas (imprimación, capas intermedias y capa final) cada una de las cuales está caracterizada por unas cualidades, función y componentes específicos. Por otro lado, muchos de los revestimientos comúnmente utilizados hasta la fecha están formulados combinando elementos nocivos, contaminantes y peligrosos (cromo, plomo, disolventes orgánicos, cadmio, etc.) que no serán aceptados durante mucho tiempo teniendo en cuenta la actual conciencia medioambiental, si bien sus prestaciones los hacen aceptables fuera de norma.

Hay necesidad pues, de sustituirlos (o del desarrollo de técnicas alternativas) cumpliendo unas prestaciones semejantes y asegurando un mayor respeto medioambiental.

Además de esto las fallas más comunes de la protección anticorrosivo a base de recubrimiento son por lo general:

- Discontinuidad de película
- Perdida de adhesión
- Ampollamiento



- Corrugado
- Caléo
- Corrosión bajo película

1.2 Estado del Arte

Según Uhlig H:H (1962) la paternidad de la protección catódica se atribuye inglés Sir. Humphrey Dhabí, quien en el año 1824, recomienda la protección del cobre de los buques de guerra británicos, uniéndolo con hierro o zinc; habiéndose obtenido una apreciable reducción del ataque al cobre, a pesar de que se presentó el problema de ensuciamiento por la proliferación de organismos marinos, habiéndose rechazado el sistema por problemas de navegación.

En 1850 y después de un largo período de estancamiento la marina Canadiense mediante un empleo adecuado de pinturas con antiorganismos y anticorrosivos demostró que era factible la protección catódica de embarcaciones con mucha economía en los costos y el mantenimiento.

En la actualidad la protección catódica es el método mas efectivo utilizado como método anticorrosivo en todo tipo de estructuras metálicas dándose como variantes la de corriente impresa y la de ánodos galvánicos.

1.3 Marco Contextual

1.3.1 Situación Problemática (Problematización)

A veces los daños causados por un problema de corrosión pueden ser muy amplios. Pensemos en la reparación de la falla de un tanque almacenador de combustible, resultante de problemas de corrosión interna o externa. Aparte del costo inherente a la sustitución del tanque dañado, hay que tener en cuenta el daño causado por el aceite derramado al terreno, muchas veces irreversible, así como el posible paro de la distribuidora y los consiguientes problemas de desabastecimiento que ello puede llegar a acarrear. Y sin embargo, un proceso



esencialmente de corrosión lo utilizamos diariamente para producir energía eléctrica: un claro ejemplo es el de la pila seca.

La corrosión en instalaciones de transporte y almacenamiento de fluidos provoca principalmente perforaciones y debilitamiento de tanques y tuberías de acero enterradas, sumergidas o que contienen un fluido conductor, aunque también afecta a las estructuras mecánicas de soporte y a todos los sistemas de puesta a tierra.

En general puede suponer:

- Pérdida de producto.
- Aumento del riesgo de accidentes personales.
- Aumento del riesgo de incendio y explosión.
- Aumento del riesgo de contaminación ambiental.
- Paros del proceso o servicio.
- Contaminación del producto.
- Elevados costes de reparación.
- Degradación de estructuras y sistemas.

La velocidad de corrosión es mayor con el aumento de la superficie de las zonas anódicas, la disminución de la resistividad del medio conductor y con la presencia de factores aceleradores como pueden ser bacterias específicas, medios conductores de características químicas específicas, corrientes vagabundas, tanto naturales como de instalaciones eléctricas: ferrocarriles electrificados, líneas y estaciones de alta tensión, sistemas de protección catódica, y sistemas de baja tensión y de puesta a tierra.

Nuestro estudio se basa a encontrar el mejor de los sistemas de protección contra la corrosión en los tanques de almacenamiento de combustibles de las estaciones de servicio de la ciudad de Loja con el diseño de un sistema de protección catódica

Se ha tomado como lugar de estudio para nuestra investigación la estación de servicio de combustible EL PORTAL la cual se encuentra



ubicada el barrio Las Pitas en la Av. 8 de Diciembre junto a Inapesa véase. (anexo 1)

Los tanques de almacenamiento de la estación que va a ser foco de nuestro estudio se encuentran con combustible desde enero del 2001 y puesto en marcha en marzo del mismo año .

Los tanques con los que cuenta la estación de servicio son tres , ellos tienen una capacidad de 10000 galones En cuanto tiene que ver a su instalación los tanques son enterrados y rodeados de arena, (anexo 2). Sin tener mas protección contra la corrosión que una capa exterior de pintura anticorrosiva asfáltica .(anexo 3)

Es por estas razones por las que se ha creído conveniente realizar una investigación para la protección contra la corrosión en los tanques enterrados de almacenamiento de combustible

La Problematización radica en el hecho de la no existencia de una metodología de un nuevo sistema de protección anticorrosivo capaz de ser implementado a nuestro medio.

Nuestro País como es de conocimiento publico gasta exorbitantes sumas de dinero en reemplazar bienes materiales de las industrias ya sean estos: tanques, tuberías ,estructuras metálicas ,etc., cualquiera fuere su condición de instalación ya sean enterrados, sumergidos o al aire libre. Que en un corto lapso de tiempo se ven deteriorados sin ni siquiera haber cumplido el tiempo para el cual esta diseñado.

La corrosión por tanto es un proceso destructivo en lo que a ingeniería se refiere y representa una enorme pérdida económica. Además es un serio problema en nuestra ciudad, por el hecho de que las estaciones de servicio de combustible por lo general se encuentran en zonas céntricas de la urbe y sus tanques de almacenamiento están ubicados subterráneamente.



Por consiguiente esto representa una seria dificultad que aumenta con el paso del tiempo, la corrosión hará mella en los tanques de almacenamiento y podría desembocar en tragedias de grandes proporciones.

Los tanques que sirven para nuestro estudio, como se expuso anteriormente deberían tener una protección contra la corrosión de gran alcance, ya que por su contenido representa, una amenaza latente en la colectividad que vive a sus alrededores

Al analizar las desventajas de los métodos anticorrosivos y sobre todo el impacto nocivo al medioambiente se propone realizar un estudio de un sistema alternativo anticorrosivo para la protección de los tanques de almacenamiento de las estaciones de servicio de combustible de la ciudad de Loja tomando como base los tanques de la estación de servicio EL PORTAL.

Un adecuado mantenimiento anticorrosivo es lo que se ha diseñado valiéndonos de los conocimientos adquiridos en el transcurso de nuestra carrera valiéndonos de fundamentos mecánicos y eléctricos. Una vez comprobado que los métodos tradicionales anticorrosivos como son:

Tratamientos térmicos, inhibidores, recubrimientos superficiales, etc. No han sido lo más eficientes posibles y no cumplen los requerimientos más óptimos.

Se ha pretendido demostrar que la protección catódica que se ha desarrollado se puede implementar a nuestro medio es lo más eficiente. abarata costos y lo que es más importante para nuestro medio alarga notablemente la vida útil de estos bienes.

Este método pretende clarificar el hecho de la necesidad de poner en marcha toda una campaña de protección anticorrosión con un método catódico para que las Empresas que se dedican a esta labor alarguen sus vidas útiles y así generen más ingresos económicos para el país. Ya que al suponer un gran ahorro económico en reemplazar maquinaria o en métodos ya anticuados y costosos para la lucha contra la corrosión, todos nos veremos beneficiados.



1.3.2 Problema científico

La falta de un adecuado sistema de protección en los tanques de almacenamiento de combustible de las estaciones de servicio de nuestra ciudad, contra agentes corrosivos que disminuyen su vida útil lo que representa un peligro ambiental y por ende recae en un aumento de los gastos de reemplazo.

1.3.3 Hipótesis

1.3.3.1 Hipótesis General

Con el establecimiento de un sistema de protección catódica eficaz se puede contrarrestar el efecto de la corrosión en los tanques subterráneos de almacenamiento de combustible EL PORTAL , de la Ciudad de Loja.

1.3.3.2. Hipótesis Específicas

La identificación de los parámetros corrosivos y su influencia en la estabilidad química de los tanques permite plantear el tipo de protección catódica a utilizar.

La utilización del ánodo de sacrificio más conveniente permite obtener una mayor eficiencia en el sistema anticorrosivo propuesto.

1.3.4 Objetivo

1.3.4.1 Objetivo de Trabajo (General)

Proponer y diseñar una variante tecnológica que garantice la protección catódica eficaz de tanques subterráneos de almacenamiento de combustible de la estación de servicio EL PORTAL de la ciudad de Loja



1.3.4.2 Tareas de trabajo (Objetivos específicos)

Realizar un estudio de los parámetros que influyen en la corrosión de los tanques subterráneos para las condiciones investigadas.

Seleccionar el sistema de protección catódica más efectivo y diseñar la metodología para su implementación.

Proponer algunos procedimientos y técnicas de control y monitoreo de la efectividad del proceso para la variante propuesta.

Realizar un estudio del posible impacto económico y ambiental de los resultados obtenidos.



CAPITULO II

2.1 Fundamentos Básicos sobre Corrosión

2.1.1 Aspectos generales sobre corrosión

Los materiales, y en especial los metales, son obtenidos a partir de especies minerales estables en las condiciones naturales. Por tanto, al ser expuestos a las condiciones ambientales, tienden a estabilizarse química y energéticamente. El paso espontáneo de estos materiales a su estado natural combinado, es llamado **corrosión**.

Por consiguiente, este fenómeno, es el responsable directo de la destrucción de materiales constructivos, de los daños indirectos que esta falta provoca y de los inconvenientes que suponen su sustitución, representando así un verdadero problema económico, que según cifras oficiales, alcanza en a nivel mundial unos miles de millones de dólares al año.

Por tanto, la **corrosión** es un proceso a veces inevitable, cuya prevención es difícil, y donde es posible y practicable un control y una protección contra el mismo.

A continuación se describe el proceso mediante el cual se lleva a efecto la corrosión por reacciones electroquímicas

Al sumergir un material metálico, tal como hierro, en un electrolito los átomos del metal tienden a disolverse. Estos átomos reciben el nombre de iones y al desprenderse de la masa metálica llevan consigo una carga eléctrica positiva. Con el desprendimiento del ión de la masa metálica, esta pierde cargas positivas, generando entonces con respecto al electrolito una diferencia de potencial. (Fig. 1)

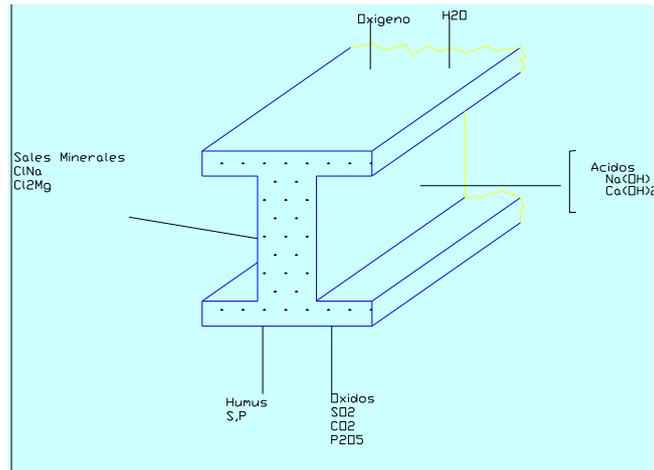


Fig. 1 Disolución de un metal en el ambiente

2.1.2 Formas de la corrosión

2.1.2.1 Según Medio:

- **química**, reacciones producidas por la acción del medio ambiente (agua, ambientes marinos, gases industriales...). Las estructuras expuestas a estos ambientes sufren los efectos corrosivos debido a la acción de cloruros, que son arrastrados por el viento y depositados en el acero, que con ciclos alternados de humedad posibilitan la reacción de celdas galvánicas.
- **electroquímica**, ya que en un mismo metal hay áreas de diferente potencial eléctrico. La corrosión no se distribuye de manera uniforme sobre la superficie del hierro, sino que queda localizada en determinadas zonas (ánodos) de las que fluye una corriente eléctrica hacia las zonas protegidas (cátodos), al darse corrientes eléctricas entre dos zonas del material con diferentes potenciales. Este tipo de corrosión es la más peligrosa.

2.1.2.2 Según Forma:

- **Corrosión uniforme**: la corrosión química o electroquímica actúa uniformemente sobre toda la superficie del metal.



- **Corrosión localizada:** se produce en algunos sectores del metal, es la más peligrosa.
- **Corrosión intergranular:** se produce en los límites del grano, ocasiona pérdidas de resistencia del material. Común en aceros inoxidables.
- **Corrosión por picadura:** se producen hoyos o agujeros por agentes químicos, se puede encontrar en la superficie del metal y se presenta como túneles pequeños y a escala microscópica.
- **Corrosión por esfuerzo:** producida por los esfuerzos externos a la que se es sometido el material. También puede ser causado por esfuerzos internos, producidos por remaches, pernos.
- **Corrosión por fatiga:** pérdida de la capacidad del metal para resistir los esfuerzos, rompe la película de óxido produciendo una mayor exposición.
- **Corrosión por fricción:** se produce por el roce entre dos metales produciendo así un daño material de los metales. El calor de la fricción elimina el óxido.
- **Corrosión selectiva:** proceso donde es eliminado un elemento debido a una interacción química (ejemplos más conocidos: desingificación, granítica)
- **Corrosión bajo tensión:** ocurre cuando el metal es sometido a la acción de tensiones, aparece como fisuras.
- **Corrosión-erosión:** causada por un tipo de corrosión y abrasión (causados generalmente por líquidos y gases).



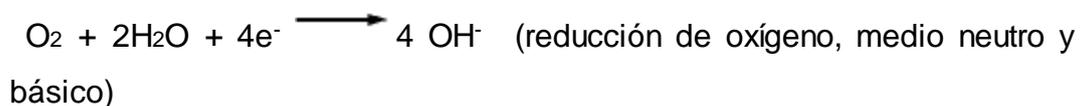
- **Corrosión atmosférica.** producida por una acción agresiva por el ambiente sobre los metales (efecto simultáneo del aire y el agua).
- **Corrosión galvánica:** ocurre cuando metales diferentes entran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes lo cual favorece la aparición del un metal como ánodo y otro como cátodo, a mayor diferencia de potencial el material con más activo será el ánodo (efectos superficie).

2.1.3 Electroquímica de la corrosión

2.1.3.1 Definición

La corrosión electroquímica es un proceso espontáneo que implica la existencia de una zona anódica (donde se da una reacción de oxidación), una zona catódica (donde se dirigen los electrones liberados en la zona anódica) y un electrolito. En la región anódica se produce la corrosión y en la catódica la inmunidad del metal.

Las reacciones que tienen lugar son:



Lo que realmente sucede a nivel atómico durante un proceso de corrosión se puede observar en la (Fig. 2) Un clavo de hierro y un clavo de cobre conectados mediante un circuito externo:

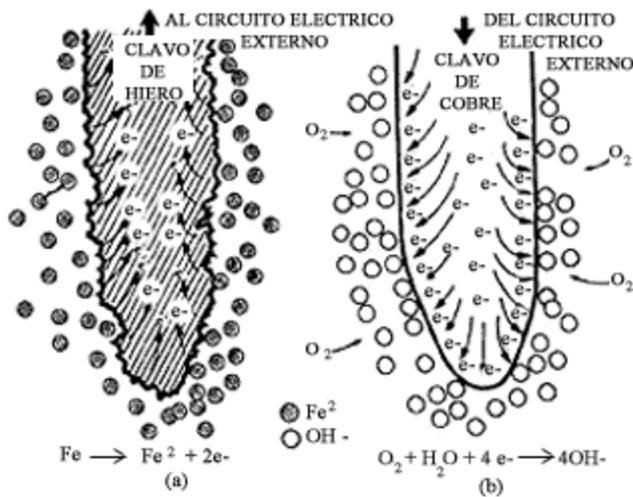


Fig. 2 Hierro y cobre conectados a circuito externo

El material anódico (el hierro) cede electrones al circuito eléctrico externo debido a la diferencia de potencial creado por el par hierro cobre, formándose iones Fe^{2+} que se transformarán en el óxido rojizo o herrumbre, tan familiar para nosotros.

Así pues, el metal anódico se desintegra, mientras que el material catódico (el clavo de cobre), permanece casi sin ser afectado.

Debe quedar claro que un proceso de corrosión involucra tanto la reacción anódica como la catódica, y que si una de las dos reacciones falla, el proceso de corrosión se detiene.

En general, el ejemplo más frecuente de corrosión es la oxidación de un metal por el oxígeno atmosférico, agentes contaminantes (SO_2) o por el agua condensada en la atmósfera (para lo que la humedad relativa deberá ser mayor del 70%).

2.1.4 Fundamento de la Corrosión

2.1.4.1 Termodinámica: diagramas de Pourbaix

El análisis termodinámico de la corrosión sólo indica si existe tendencia a que se produzca. El que se de o no depende de los potenciales estándar



de reducción del M^{n+} , O_2 y H_2O , así como del pH, la presión parcial del O_2 y la temperatura.

El equilibrio termodinámico de la corrosión se visualiza en los diagramas de Pourbaix, llamados así porque los introdujo el profesor Michael Pourbaix, en 1939. Representan el potencial de reducción (E) frente a la acidez (pH) para cada sistema metal-electrolito. Consisten en una serie de líneas que representan tránsitos entre distintas especies correspondientes a reacciones químicas o electroquímicas. En especial, debemos hacer hincapié en el diagrama E-pH para el hierro, por ser el material más usado para edificios y maquinaria:

Pueden estudiarse para todos los metales las zonas de inmunidad, corrosión activa y pasivación, (Fig. 3), lo que da lugar a los diagramas de Pourbaix simplificados:

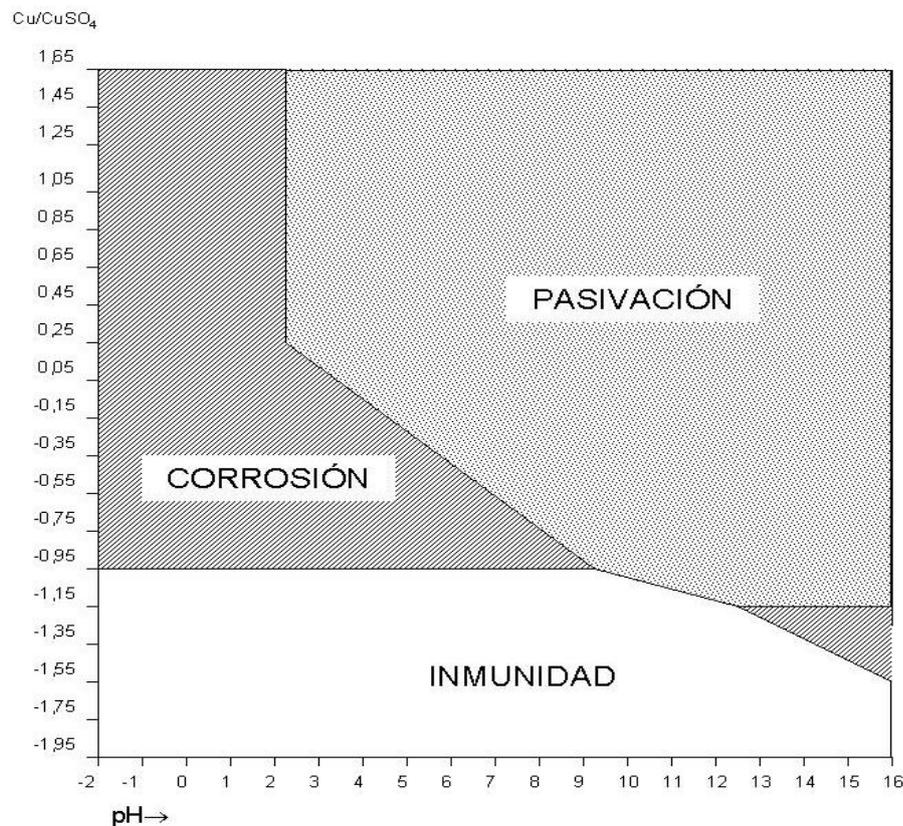


Fig. 3 Diagrama de Pourbaix mostrando zonas de corrosión, pasivación e inmunidad del hierro frente a potenciales respecto un electrodo de $Cu/CuSO_4$.



Una buena aproximación para el estudio del comportamiento de los distintos materiales en medio acuoso lo constituyen los diagramas de Potencial de reducción (Eh) contra Acidez (pH), o también llamados de Pourbaix, en honor a quien los introdujo. En éstos, se observan distintas zonas de estabilidad, entre las que cabe distinguir las de INMUNIDAD, de CORROSIÓN activa y de PASIVIDAD.

La zona de inmunidad, o zona de predominio de las reacciones de reducción, corresponde a la zona donde el material se encuentra en condiciones estables.

La zona de corrosión activa se caracteriza por el predominio de las reacciones de oxidación, que causan la destrucción por combinación o disolución continuada del material. El límite entre la zona de inmunidad y la de corrosión activa es gradual, al igual que con la de pasividad.

La zona de Pasivación, corresponde a una zona de corrosión, donde la fase formada constituye una película protectora, que evita el avance del proceso de corrosión. La formación de imperfecciones en la misma (pasivación imperfecta) conlleva la aparición de corrosiones locales (por ejemplo, de picaduras).

En especial, debemos hacer hincapié en el diagrama Eh-pH para el hierro y el acero, por ser el material más usado para construcciones mecánicas. Éste muestra una zona de inmunidad para pH inferiores a 11, a partir de un potencial estándar de -0,53 V con respecto al electrodo normal de hidrógeno, o -0,85 V con respecto a la pila de cobre/sulfato de cobre, que constituye el fundamento de la protección catódica.

También se muestra la presencia de una zona de protección pasiva, que se traduce en corrosión en ambientes ácidos. La presencia de cloruros, como se muestra en el diagrama adjunto, genera una pasivación imperfecta, dependiendo de la concentración de éste, y por tanto, corresponde a la presencia de corrosiones locales, como por ejemplo las picaduras.



De forma general, las 4 zonas de este último diagrama se pueden relacionar con las especies del primero:

- **Inmunidad.** Forma estable: metal en su estado elemental.
- **Corrosión.** Forma estable: catión, en cualquier estado de oxidación.
- **Pasivación.** Forma estable: productos sólidos estables (óxidos, hidróxidos ...)

La velocidad de corrosión está dada por i_{corr} , la cual puede ser convertida a pérdida de peso usando las Leyes de Faraday.

Velocidad de corrosión (VC) de las armaduras. Indica su velocidad de deterioro, expresada como disminución de la sección en función del tiempo. Para su determinación en estructuras en servicio, se utiliza la técnica denominada 'resistencia a la polarización', que requiere del empleo de un potencióstato portátil. La tabla 1 indica los valores de VC de referencia y su correlación con el nivel de daño y la condición del medio, La tabla 1 ilustra lo indicado

Tabla 1. Valores típicos de velocidades de corrosión (VC) para aceros ASTM

NIVEL del daño	VC/mm/año	CONDICION DEL MEDIO
Muy leve	< 1	Muy seco sin contaminación de cloruros (Cl ⁻)
Leve	1-5	Seco, carbonatado o poco contaminado con (Cl ⁻)
Moderado	5-10	Húmedo, carbonatado o poco contaminado con (Cl ⁻)
Alto	10-100	Muy Húmedo, carbonatado o contaminado con (Cl ⁻)
Muy Alto	>100	Muy Húmedo, carbonatado o muy contaminado con (Cl ⁻)

En resumen, la corrosión electroquímica ocurre para un metal sólido existente que oxida a cargas positivas los iones metálicos en solución. Esto ocurre en áreas llamadas ánodos. El resultado es un exceso de electrones que pasan a través del metal a las áreas de superficie



llamadas cátodos donde ellos son removidos por la reacción de reducción.

2.2 Protección anticorrosión

2.2.1 Tipos de protección

Son muchas las técnicas empleadas para la protección contra la corrosión, ya que se adaptan a la complejidad de las reacciones que intervienen en tales procesos.

En general, existen dos técnicas básicas que permiten el control de la corrosión: una basada en un control químico (control del pH), o bien otra basada en un control eléctrico (control del Eh), como puede deducirse de los diagramas de Pourbaix.

El factor determinante del problema de la corrosión, reside en la presencia no sólo de posibles riesgos de corrosión, sino de velocidades rápidas de destrucción.

Por tanto, la protección contra la corrosión deberá no sólo evitar posibles corrosiones (presencia de pares galvánicos, medios agresivos específicos, etc.) que habrá que analizar durante la fase de diseño, sino que deberá reducir también de forma drástica las velocidades de corrosión.

Las condiciones naturales no son solamente las responsables de la corrosión, sino que en muchos casos son efecto combinado de factores externos provocados por el hombre: como la presencia de agentes contaminantes en el suelo o el agua, como las corrientes de fuga o vagabundas provenientes de vías férreas electrificadas, estaciones de alta y baja tensión, sistemas de protección catódica, equipos de soldadura, etc.

Unos de los métodos más usados para luchar contra la corrosión, son los basados en eliminar la corriente de corrosión mediante el aislamiento de



los elementos a proteger o protección pasiva, y la aplicación de una corriente de protección contraria a la de corrosión o protección catódica.

2.2.1.1 Protección pasiva

Se entiende por protección pasiva la que implica una separación eléctrica entre ánodos y cátodos de las pilas de corrosión. En este sentido, los sistemas más empleados se basan en el aislamiento de los elementos constructivos a proteger mediante materiales dieléctricos, evitándoles entrar en contacto con el medio conductor (agua, suelo, aire húmedo).

Este método, constituye el más empleado para la salvaguarda de materiales en cualquier medio, siendo prácticamente el único utilizado para evitar la corrosión ambiental.

Poder garantizar el nivel de aislamiento suficiente, en toda la superficie y para una vida mayor a 20 años, constituye el principal reto de estos sistemas. Para ello, deben ser inspeccionada las instalaciones (según orden del 31 de mayo de 1982, BOE, nº 137 del 9-6 -1982) para comprobar el perfecto estado de aislamiento a lo largo de toda la instalación.

La manipulación incorrecta y dificultosa, en muchos casos, de los elementos constructivos aislados, fácilmente provoca defectos en ellos (por golpes, ralladuras). Este hecho convierte al sistema en muy laborioso y caro, así como lo convierte en muy peligroso para la integridad de la instalación ya que cualquier fallo en la colocación de este aislamiento implicará un ataque concentrado sobre dicho punto, conduciendo a la rápida perforación o destrucción del mismo.

Las pinturas, los recubrimientos plásticos, encintados, etc., son parte de estos innumerables sistemas de protección.



2.2.1.2 Protección activa

Dado que los procesos de corrosión constituyen procesos de intercambio de electrones, podemos construir sistemas de protección basados en aportar corrientes de protección capaces de eliminar la corrosión.

La generación de una corriente a través de los elementos a proteger, para obtener la rápida formación de una capa pasivante protectora, corresponde a una protección anódica (se protege al ánodo de la pila). Esta técnica está indicada sólo para determinados materiales y ambientes, por ejemplo para proteger a aceros inoxidable en medios ácidos, o al acero al carbono en sulfúrico concentrado.

Por otra parte, la generación de una corriente a través de un ánodo de sacrificio, retornando por las estructuras a proteger, consigue modificar el potencial de éstas respecto al medio, y situarlas en la zona de inmunidad, eliminando las reacciones de corrosión, y por tanto, protegiéndolas catódicamente (se protege al cátodo de la pila).

Los sistemas de protección catódica son los que aportan mejores resultados, y suponen una inversión más rentable.

2.2.1.3 Protección catódica

La protección catódica es, quizás, el método mas importante para conseguir el control de la corrosión, en los casos en que su aplicación es posible.

Mediante una corriente eléctrica aplicada exteriormente, desde unos ánodos situados en el mismo electrolito que la estructura, la corrosión se reduce virtualmente a cero y se puede mantener una superficie metálica en un medio corrosivo, sin sufrir deterioro durante un tiempo indefinido.

Por ello, el metal a proteger debe alcanzar un determinado potencial respecto a un electrodo de referencia, denominado *Potencial de Protección*.



Su campo clásico de aplicación es en protección externa de estructuras metálicas sumergidas o enterradas, y en protección interna de depósitos y grandes tubos que contengan agua.

Los sistemas de **protección catódica contra la corrosión**, pueden aplicarse para proteger las siguientes instalaciones:

- Exterior de tanques enterrados o sumergidos de cualquier producto como gas, agua, combustibles, productos químicos, etc.
- Exterior de tuberías enterradas o sumergidas, que transporten cualquier tipo de fluido o producto sólido, líquido o gaseoso.
- Fondo exterior de tanques apoyados en el suelo o el agua que contengan cualquier producto.
- Exterior de estructuras metálicas de sustentación enterradas o sumergidas. Entre éstas estarían pantalanés, muelles, plataformas flotantes, fijas, petrolíferas, torres, etc.
- Exterior de barcos y construcciones metálicas relacionados con la navegación, como boyas, diques flotantes, etc., parcialmente sumergidos, tanto para agua marina como dulce.
- Estructuras de hormigón armado con ataque por corrosión exterior, tanto enterradas, sumergidas o aéreas, como en puentes, muelles, edificios, etc. - Interior de tanques y tuberías metálicas que contengan o vinculen un producto conductor, como el agua marina, dulce, fría o caliente, para todo tipo de aplicaciones industriales y domésticas. Algunos ejemplos pueden ser el interior de calderas, acumuladores, tanques de reserva de agua, parte baja de tanques de combustible, cubas, decantadores, etc.
- Elementos enterrados o sumergidos de sistemas eléctricos, como las armaduras de cables, puestas a tierra, etc.

En función del tipo de fuente de la corriente continua usada para la protección se pueden distinguir distintos sistemas: por ánodos de sacrificio o por corriente impresa.



2.2.2 Fundamentos Básicos sobre protección Catódica

2.2.2.1 Definición de Protección Catódica

Procedimiento eléctrico para proteger las estructuras metálicas enterradas ó sumergidas contra la corrosión, el cual consiste en establecer una diferencia de potencial para que convierta a las estructuras metálicas en cátodo, mediante el paso de corriente eléctrica proveniente del sistema de protección seleccionado.

2.2.2.2 Fundamento de la Protección Catódica

Para que exista la corrosión electroquímica o húmeda, como se le conoce también, es fundamental que se ponga en funcionamiento una pila galvánica que denota la existencia de un ánodo, un cátodo y un electrolito. En el momento en que uno de estos tres elementos básicos para el funcionamiento de una pila falle, ésta dejará de funcionar y por tanto se detendrá la corrosión.

Los sistemas de protección contra la corrosión están basados en la eliminación de alguno de estos elementos o en hacerlos inoperantes.

El procedimiento que elimina todos los ánodos de la superficie metálica haciéndola toda catódica, se conoce con el nombre de protección catódica.

Para volver catódica una superficie metálica Existe el procedimiento de los ánodos galvánicos para lograrlo que consiste en:

Conectando el metal que se trata de proteger a otro menos noble que él, es decir, más negativo en la serie electroquímica (Anexo 4) e sistema se conoce como protección catódica con ánodos galvánicos o de sacrificio y consiste realmente en la creación de una pila galvánica en que el metal a proteger actúe forzosamente de cátodo (polo positivo) de la pila), mientras que el metal anódico se "sacrifica", o sea que se disuelve (Figura 4.) Como el metal más comúnmente utilizado en la práctica por su bajo precio y alta resistencia mecánica es el acero, los metales que se puedan conectar a él y que deben tener un potencial más negativo quedan



reducidos en la práctica al zinc (**Zn**), aluminio (**Al**), magnesio (**Mg**) y a sus aleaciones

2.2.2.3 Como trabaja la protección Catódica

La técnica genera una corriente eléctrica exterior que reduce virtualmente la corrosión a cero, pudiéndose mantener una superficie metálica en un medio corrosivo sin sufrir deterioro durante un tiempo indefinido. El mecanismo de protección se centra en la generación de la corriente externa suficiente que, entrando por toda la superficie del elemento a proteger, elimina la tendencia de los iones metálicos de éste a entrar en disolución.

En la práctica se puede aplicar la protección catódica para proteger metales como acero, cobre, plomo, latón, aceros inoxidable y aluminio, contra la corrosión en todos los tipos de suelos, y medios acuosos. No puede emplearse para evitar la corrosión en áreas de metal que no están en contacto con el electrolito.

La protección catódica requiere una fuente de corriente continua y un electrodo auxiliar o ánodo por donde se inyecta la corriente al medio donde se encuentra la estructura a proteger.

La protección catódica constituye el complemento más eficaz para la protección de elementos recubiertos con protecciones pasivas o aislamientos. La corrosión concentrada producida por los frecuentes fallos del aislamiento, quedará anulada por la presencia de un sistema complementario de protección catódica. Por tanto, la combinación de ambas técnicas es la solución económicamente más rentable contra la corrosión en medios acuosos (suelo o agua).

La protección catódica en elementos pintados o recubiertos de material aislante, conlleva el riesgo de ampollamiento del mismo por ataque en medio básico, y formación de hidrógeno gas, cuando los valores de



potencial natural superan unos umbrales específicos para cada tipo de material aislante (sobreprotección).

Así para la mayoría de pinturas el límite se sitúa sobre $-1,1$ V, mientras que para Epoxi es de $-1,2$ V y para Polietileno $-2,0$ V, todos de respecto a la pila de referencia de Cu/Cuso₄.

La aplicación de fuertes potenciales de protección catódica en aceros especiales sometidos a tensión, puede producir la aparición de corrosión bajo tensión, y de debilitamiento del acero por el hidrógeno. Ésta sólo se da con potenciales inferiores a $-2,0$ V y para casos muy especiales Para poder mantener dentro de estos umbrales de potencial todas las estructuras a proteger, deberá diseñarse un sistema que consiga una distribución lo más uniforme posible de la corriente en toda la superficie a proteger.

2.3 Sistemas de protección catódica

2.3.1 Protección por ánodos de sacrificio.

Al proyectar un sistema de protección catódica por ánodos de sacrificio tenemos un dato que nos viene impuesto, que es el potencial del ánodo y que depende del tipo de ánodo escogido.

Los ánodos de sacrificio mas comúnmente empleados son los formados por aleaciones de zinc, magnesio y aluminio..

La intensidad real a la que trabajan los ánodos determina su vida, siendo un factor importante a tener en cuenta en los cálculos.

En la (Fig. 5) se representa esquemáticamente la protección catódica por ánodos de sacrificio

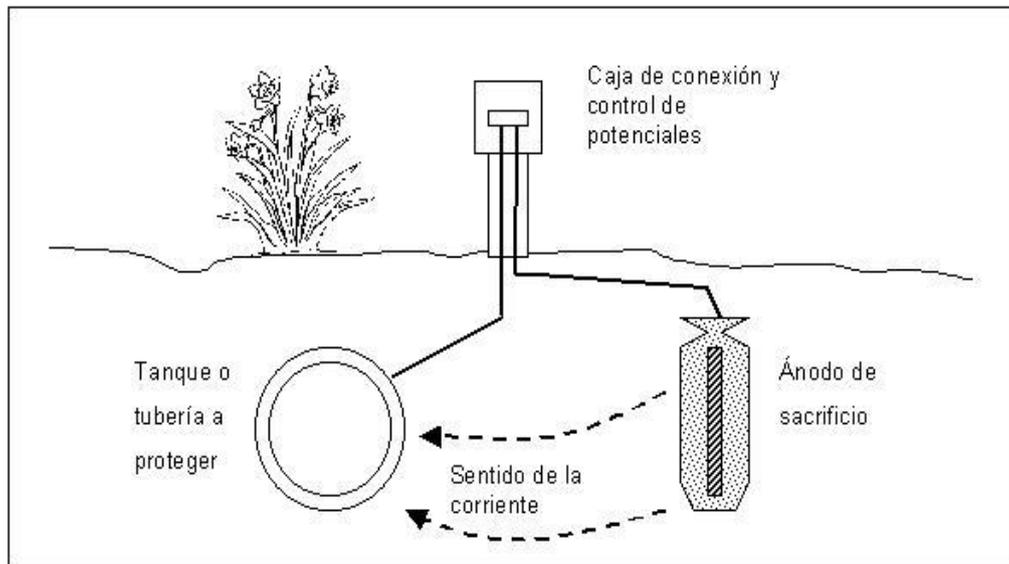


Figura 5. Esquema de instalación para protección catódica mediante ánodos de sacrificio.

2.3.1.1 . Campos de utilización de los ánodos de sacrificio.

- **Zinc.**

El valor relativamente elevado de su potencial de disolución implica un alto rendimiento de corriente, una disminución muy controlada del potencial de la estructura a proteger y una alcalinización muy pequeña del medio en contacto con esa estructura.

Uno de los factores que más puede limitar la utilización del zinc es la resistividad del medio agresivo, y por ello es aconsejable que su empleo quede limitado para resistividades inferiores a los 1000 cm.

También debe cuidarse su utilización en presencia de aguas dulces a temperaturas por encima de 65 °C ya que en estas condiciones puede invertir su polaridad y hacerse catódico con relación al acero, o en todo



caso quedar pasivado por los carbonatos precipitados. Este fenómeno de inversión de polaridad no se produce en aguas mineralizadas con contenidos de corrosión y sulfatos importantes.

Como ánodo de sacrificio se utiliza masivamente, sobre todo para la realización de la protección catódica en agua de mar: buques, pantalanes, andenes marítimos, refuerzos metálicos, diques flotantes, boyas, plataformas petrolíferas, depósitos de agua, condensadores, etc. También se utiliza en suelos de baja resistividad.

- **Aluminio.**

Por su situación en la serie electroquímica, el aluminio especialmente aleado es el metal más idóneo para la realización de la protección catódica, intermedio entre el zinc y el magnesio, con una elevada capacidad de corriente (anexo 4).

El campo de utilización de estos ánodos es, en principio, semejante al de los de zinc. Su comportamiento resulta muy satisfactorio en la protección catódica de estructuras sumergidas en aguas dulces; especialmente utilizando aleaciones de Al-In, de las que se tiene una gran experiencia.

No obstante, las aplicaciones más frecuentes se sitúan en el campo naval: su elevada capacidad de corriente hace que un solo ánodo de aluminio pueda ejercer la acción de tres de zinc de iguales características, para una misma duración del ánodo. Estas circunstancias han motivado que estos ánodos sean muy utilizados para la protección catódica de tanques de lastre y carga-lastre de petroleros.

Aunque el precio del aluminio es algo más elevado que el del zinc, al necesitar menos ánodos, esta diferencia se compensa. Pero, si se considera, además, el ahorro en mano de obra de instalación de los ánodos, el aluminio puede llegar a resultar más económico.



- **Magnesio.**

El magnesio es un elemento muy reactivo lo que implica una capacidad de proporcionar una densidad de corriente elevada, a costa de consumirse con gran rapidez.

Por ello su principal aplicación es en el caso de ánodos enterrados en suelos de resistividades intermedias (2000 a 10000 cm.). En resistividades elevadas es preferible recurrir a sistemas de corriente impresa.

Otro importante campo de aplicación son los acumuladores de agua caliente sanitaria aunque suele limitarse a depósitos pequeños y bien revestidos.

- **Otros materiales.**

Teniendo en cuenta la serie electroquímica, y el hecho de que es preciso alear algunos elementos para que sirvan como ánodos de sacrificio, existen otros materiales que también se utilizan para determinadas aplicaciones.

Como por ejemplo, el hierro para proteger cobre o acero inoxidable en casos especiales; o los metales que se utilizan para la fabricación de baterías.

2.3.1.2 Ánodos enterrados

Cuando un ánodo de sacrificio se utiliza para la protección de una estructura enterrada conviene asegurarse que trabajará en las mejores condiciones.

En general los ánodos suelen rodearse con mezcla activadora (formada por una combinación de bentonita, yeso y sales).



Con ello se consiguen tres objetivos:

1. Aumentar la superficie de contacto con el terreno.
2. Mantener un cierto grado de humedad alrededor del ánodo.
3. Evitar la pasivación del ánodo con el paso del tiempo.

La utilización de mezcla activadora es fundamental en suelos de resistividades medias (a partir de 2000 ohms- cm.)

En el (anexo 5) se muestran algunas de las características de los ánodos galvánicos.

2.3.2 Protección catódica por corriente impresa

En este sistema de protección catódica se utiliza la corriente suministrada por una fuente continua para imprimir la corriente necesaria para la protección de una estructura, como se indica en la (fig. 6).

Este procedimiento consiste en unir eléctricamente la estructura que se trata de proteger con el polo negativo de una fuente de alimentación de corriente continua (pura o rectificada) y el positivo con un electrodo auxiliar que cierra el circuito. Los electrodos auxiliares se hacen de chatarra de hierro, aleación de ferrosilicio, grafito, titanio platinado, etc. Es completamente indispensable la existencia del electrolito (medio agresivo) que completa el conjunto para que se realice el proceso electrolítico.

Este sistema de protección catódica tiene la característica de que utiliza como ánodo dispersor de la corriente (electrodo auxiliar) materiales metálicos que en mayor o menor grado se consumen con el paso de la corriente. Sin embargo, el intercambio necesario de corriente con el electrolito tiene lugar a través de reacciones electroquímicas, las cuales dependen tanto del material anódico, como del ambiente que rodea al mismo e incluso de la densidad de corriente que éste suministra.

Así, en el caso de un ánodo de chatarra de hierro o de acero al carbono, la reacción electródica es la de disolución del hierro.

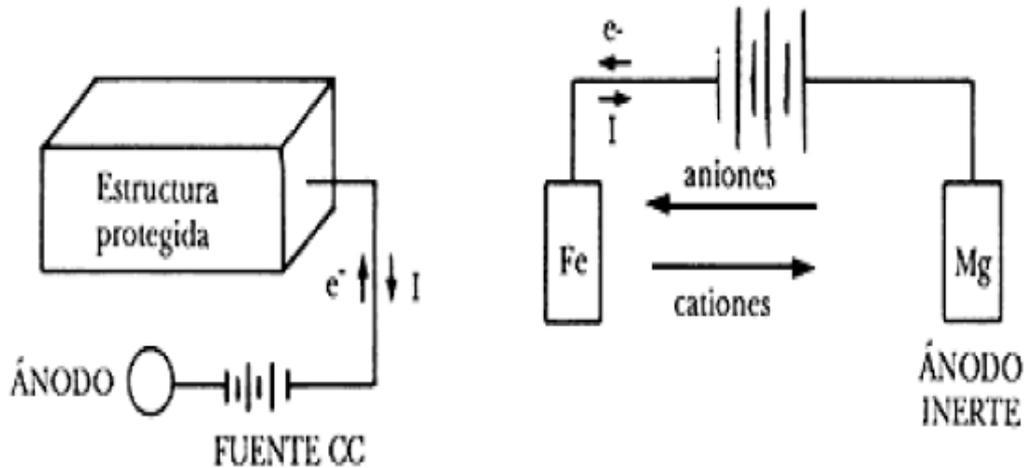


Fig. 6 Protección Catódica por corriente Impresa

2.3.2.1 Fuentes de corriente

El sistema de corriente impresa requiere de una fuente de corriente continua, no importa de dónde provenga, a condición de que se mantenga pese al paso del tiempo. Un sistema de corriente impresa debe de poder funcionar de forma permanente al menos durante diez años.

Rectificadores

Los aparatos que permiten el paso de la corriente en un solo sentido se conocen con el nombre de rectificadores.

Estos aparatos se alimentan con corriente alterna. Si se trata de un rectificador monofásico (fig. 7) estará constituido por un transformador monofásico alimentado en el primario a 110 o 220 V.

La tensión de salida puede ajustarse según las necesidades. Un puente monofásico reductor P, compuesto por 4 diodos o grupos de diodos de selenio o silicio. Este puente reduce las dos alternancias de la corriente monofásica.

El selenio es más barato pero también es más frágil que el silicio.

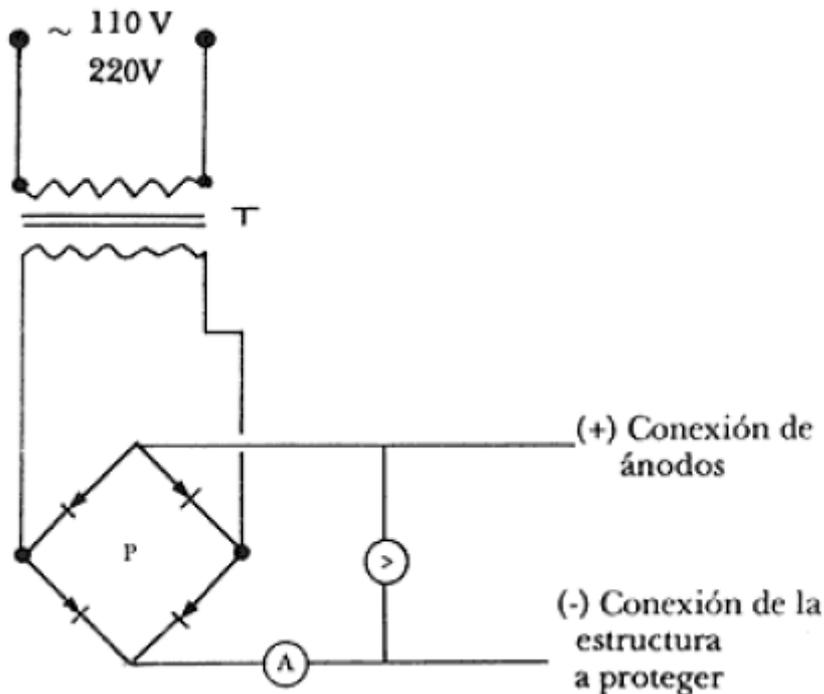


Fig. 7 Esquema de un transforrectificador monofásico.

Un **voltímetro** permite controlar la tensión de salida y un **amperímetro** la intensidad total.

La tensión de salida puede ser regulada con ayuda de regletas o por medio de un "variac", el cual permite una regulación continua desde el 0 al valor máximo.

Cuando se necesitan intensidades altas de corriente es más económico utilizar rectificadores alimentados con corriente trifásica de 380 V.

Dinamo con motor térmico

Permite la protección catódica en donde no existe posibilidad de suministrar energía eléctrica, como en el caso de los desiertos o zonas selváticas. El motor térmico puede estar alimentado, ya sea directamente a partir de la conducción que se desea proteger, ya sea por un depósito que se llena periódicamente.

2.3.2.2. Ánodos auxiliares

Todos estos ánodos van consumiéndose a mayor o menor velocidad con el paso de la corriente. Así, la chatarra de hierro se consume muy



rápidamente y el titanio platinado a un ritmo muy lento. A continuación se describen brevemente cada uno de estos electrodos.

Chatarra de hierro

Por ser lo más económico, la chatarra de hierro es utilizada con frecuencia como ánodo auxiliar. Dentro de los perfiles es el carril viejo el más utilizado y, dentro de las fundiciones, la tubería.

Puede ser aconsejable la utilización de este tipo de ánodos en terrenos de resistividad elevada, y es recomendable también que se le rodee de un relleno artificial constituido por carbón de coque (con un diámetro medio de partícula de 10 mm.)

El consumo medio de los lechos constituidos por perfiles de acero viene a ser de 5 kg/A-año y de 8-10 kg/A-año para la tubería de fundición.

Ferrosilicio

El ánodo de ferrosilicio es recomendable en terrenos de media y baja resistividad. Se coloca hincado o tumbado, en el suelo, y normalmente rodeado de un relleno de carbón de coque.

A intensidades bajas de corrientes (1 A), su vida es prácticamente ilimitada, y su capacidad máxima de salida de corriente es de unos 12 a 15 A por ánodo. Su consumo oscila, a intensidades de corriente altas, entre 0.1 0.3 Kg./A-año.

Sus dimensiones más normales corresponden a 1 500 mm de longitud, 75 mm de diámetro, y su peso aproximado es de 60 Kg.

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

Grafito

El grafito puede utilizarse principalmente en terrenos de resistividad media, con un relleno de grafito o de carbón de coque.

Este ánodo es frágil, por lo que su transporte y embalaje debe ser cuidadoso. Sus dimensiones varían: su longitud oscila entre 1 000 y 2 000 mm y su diámetro entre 60 y 100 mm. Son más ligeros de peso que los de ferrosilicio.



La salida máxima de corriente que tienen estos ánodos es de 3 a 4 A por ánodo y su desgaste varía entre 0.5 y 1 kg/A-año.

Titanio platinado

El de titanio platinado es un ánodo especialmente indicado para instalaciones en agua de mar, aunque también es perfectamente utilizable en aguas dulces o incluso en suelos. Su característica más relevante es que con pequeños voltajes (12 V) se pueden sacar intensidades elevadas de corriente, y además, su desgaste es apenas perceptible. En el agua de mar tiene, sin embargo, algunas limitaciones con respecto a la tensión a la que se puede aplicar, la cual nunca puede pasar de 12 V, ya que las tensiones más elevadas podrían ocasionar que se despegara la capa de óxido de titanio y que, por tanto, se deteriorara el ánodo. En aguas dulces que no tengan cloruros estos ánodos pueden actuar a tensiones de 40-50 V. La salida máxima de corriente puede ser de $3\ 000\ \text{A/m}^2$, y su desgaste en las condiciones más adversas es de 0.01 g/A-año.

Su forma es diversa: pueden estar hechos en forma de una barra maciza, de tubo, chapa, alambre, etc. El platinado puede ser continuo o a intervalos, según las necesidades, y los espesores de platino pueden ser de 2.5 y 5 micras. La vida de los ánodos con 2.5 micras de espesor de platino se estima en 10 años aproximadamente y los de 5 micras duran entre 20 y 25 años.

Su resistencia mecánica es pequeña, y por simple abrasión, como en los casos de buques que naveguen por zonas que tengan arena, puede suceder que el platino desaparezca y quede el ánodo pasivado instantáneamente, y resulte, por tanto, inservible. Es éste un caso extremo, que no suele suceder, pero al menos se tiene que saber que esto puede pasar.

Tántalo platinado

El ánodo de tántalo platinado es semejante al anterior, aunque tiene sobre aquél la ventaja de que en agua de mar puede trabajar a tensiones altas (50-60 V); sin embargo, su adquisición es menos fácil y su precio es más elevado. Dado que en agua de mar y a voltajes bajos se emplean grandes



intensidades de corriente, el uso de este ánodo, en general, no se justifica del todo.

Plomo Plata

La aleación plomo plata está constituida por 1% de plata y una pequeña cantidad de antimonio. El peróxido de plomo que se forma al actuar anódicamente (que tiene el color del cacao) posee unas propiedades mucho más elevadas en virtud de los elementos de aleación que se traducen en un mejor funcionamiento y duración del electrodo.

Se utiliza más frecuentemente en agua de mar, en donde la corriente máxima de salida no pueda ser superior a 270 A/m^2 . Se desgasta entre 50 y 200 g/A-año.

Estos ánodos deben presentar una superficie plana, con lo cual se evitan en lo posible las aristas, pues en estas zonas la capa de peróxido de plomo se forma mal o no se forma, por lo que en estos puntos se puede presentar una corrosión fuerte.

Titanio-óxido de titanio y óxido de rutenio

Estos ánodos, desarrollados en Estados Unidos en 1968, están constituidos por una combinación de óxidos de titanio y de rutenio, que se adhieren a un soporte de titanio, mientras se controla el proceso a alta temperatura (700° C) Como resultado se obtiene una estructura cristalina y dura que presenta una superficie extremadamente rugosa, lo que aminora los problemas de resistencia y facilita el proceso electroquímico.

Su máxima capacidad de corriente (1100 A/m^2) lo coloca a la altura de los ánodos de titanio platinado, y su costo es, aproximadamente, 20% menor.

2.3.2.3. Propiedades ánodos auxiliares:

Como se ha visto, los diversos tipos de materiales que se utilizan como ánodos para los sistemas de protección catódica con corriente impresa se escogen básicamente en función de sus prestaciones necesarias y del medio en que serán colocados.

En general, un buen ánodo debe poseer las propiedades siguientes:



- a) Bajo consumo,
- b) densidad de corriente erogada elevada,
- c) pequeñas dimensiones,
- d) baja resistividad,
- e) buena resistencia mecánica, y
- f) elevado potencial de ruptura.²

Los ánodos que se utilizan en la corriente impresa pueden dividirse, en cuanto a su consumo, en: **a)** ánodos solubles, **b)** semiinertes y **c)** inertes. Actualmente se prefieren los inertes ya que, pese a que su costo es más alto, tienen las mejores características. En el Anexo 6 se resumen las propiedades principales de los ánodos utilizados en la corriente impresa, clasificados según su consumo. En el mismo cuadro se incluye el medio en el cual pueden utilizarse.

Éste representa el potencial anódico máximo que puede soportar el ánodo y es función de la densidad de corriente suministrada por él mismo. Si se llega a superar este valor de potencial, el ánodo se consume a una gran velocidad.

En el suelo o terreno se usa principalmente la aleación **Fe-Cr-Si**, mientras que en el agua de mar se tiende a utilizar ánodos inertes del tipo **Ti/Pt** o **Ti/RuO₂** (ánodos dimensionalmente estables, DSA).

La elección de un ánodo no se hace solamente en base a su consumo o a la densidad de corriente que puede proporcionar; hay que tener en cuenta, además, sus propiedades de resistencia mecánica, su resistencia a la erosión (como en el caso de que sean utilizados en agua de mar, y sobre todo sumergidos en las inmediaciones del mar o en el fondo marino), su facilidad de instalación, el tiempo de sustitución e incluso su disponibilidad en el mercado.

En el terreno, los ánodos pueden ser instalados en un lecho de bentonita o polvo de coque, lo cual crea un medio homogéneo, húmedo y de baja resistividad alrededor del ánodo, con lo que se aumenta su diámetro aparente y las dimensiones efectivas del ánodo, y se disminuye de esta forma la resistencia ánodo-suelo, se evitan los problemas de corrosión



localizada que pueden romper el ánodo y reducir el consumo del material anódico.

2.4 Criterios de Protección Catódica

2.4.1.- Introducción

Cualquier estructura metálica que se halle enterrada, al igual que una que se halle sumergida, podrá sufrir ataque corrosivo con mayor o menor intensidad. La intensidad de este ataque dependerá, por un lado, de la naturaleza del metal mismo, y, por otro, de la agresividad del terreno.

La corrosión en suelos responde típicamente a un proceso electroquímico. Así, la intensidad de la pila de corrosión dependerá de la resistividad del medio en proporción inversa, siendo por tanto mucho mayor cuanto menor sea ésta.

Debe tenerse en cuenta, además, que al contrario de lo que pueda ocurrir con metales inmersos en un líquido, en que puede suponerse que el medio es homogéneo, en el caso de los suelos nos hallamos con un medio extraordinariamente complejo. Su comportamiento ante la corrosión depende de su naturaleza, granulometría, porosidad y de su comportamiento como electrolito, que se mide en función de su resistividad.

La resistividad depende de factores tales como la humedad, la temperatura, el efecto del pH, el potencial red-ox, la salinidad, la corrosión bacteriana y otros factores externos como puedan ser la presencia de corrientes vagabundas.

La aplicación de revestimientos tales como pinturas, encintados, etc., a las estructuras metálicas antes de ser enterradas permiten evitar el paso de la corriente de corrosión, pero es difícil que lo garanticen en toda su superficie. Así, en las zonas donde haya defectos (rayaduras, golpes, cambios de espesor en el encintado, grietas por envejecimiento, etc.) se concentra exponencialmente el proceso de perforación por corrosión.



A título orientativo, y sin entrar en las consideraciones detalladas que permiten obtener los datos que se exponen, presentamos un resumen sucinto de aquellas características que ayudaran a clasificar un terreno con el fin de evaluar los criterios necesarios para la PROTECCION CATODICA de estructuras que tengan, o ya estén, enterradas en ellos.

Debe destacarse, no obstante, que para evaluar los criterios de PROTECCION CATODICA ha de suponerse la conjunción de todos los factores que inducen a corrosión en el peor de los casos posibles para cada tipo de terreno y ambiente que le rodea. Además, hay que tener en cuenta el factor temporal en que estas peores condiciones puedan darse, por corto que éste sea. Puede ser, que unos pocos días al año en los que se den las peores condiciones posibles pueden corroer seriamente una estructura que durante el resto del año no sufre prácticamente corrosión porque las condiciones del entorno así lo permiten.

2.4.2.- Resistividad del terreno

La resistividad del terreno representa una de las propiedades más significativas a la hora de determinar sobre la corrosividad de un suelo. Se ha constatado en numerosísimas ocasiones una relación directa entre esta propiedad y la corrosión, de tal forma que la corrosión es mayor cuanto menor sea la resistividad.

Además, ha de tenerse también en cuenta que existe una relación directa entre humedad, temperatura y salinidad respecto a resistividad, mientras que esta relación es inversa entre porosidad y resistividad. (tabla 2)

Tabla 2. Relación de resistividad con características del suelo

AUMENTO DE	RESISTIVIDAD	CORROSION
Porosidad	Aumenta	Baja
Salinidad	Baja	Baja
Humedad	Baja	Aumenta
Temperatura	Baja	Aumenta



Atendiendo a los valores de la resistividad de los suelos, se establecen unas equivalencias de Corrosividad, que se muestran en la tabla 3, a la vez que se indican la necesidad de protección catódica en dichas instalaciones enterradas o sumergidas y revestidas:

Tabla 3. Equivalencias de Corrosividad

RESISTIVIDAD	CORROSIVIDAD DEL SUELO	PROTECCION CATODICA
< 9 Ohm x m	Muy corrosivos	SI
9 a 23 Ohm x m	Bastante corrosivos	SI
23 a 50 Ohm x m	Moderadamente corrosivos	SI
50 a 100 Ohm x m	Ligeramente corrosivos	SI
> 100 Ohm x m	Muy ligeramente corrosivos	Depende

Existen en nuestro medio una gama de suelos los mismos que tienen una naturaleza unos distinta de otros, que tienen materiales constituyentes principales, los cuales se pueden observar en el anexo 7.

2.4.2.1.- EFECTO DEL pH

Debe tenerse en cuenta que un suelo está formado, fundamentalmente, por el resultado de la disgregación de rocas. La naturaleza del suelo no sólo depende de la composición de la roca original, sino de otros factores tales como presencia de materia orgánica, abonos químicos, contaminación industrial o doméstica, etc., con lo cual las características primitivas de un suelo pueden cambiar extraordinariamente. En muchos casos su presencia condiciona una alta corrosividad, como por ejemplo un suelo pantanoso, ácido, con mucha materia orgánica, o bien suelos muy alcalinos que atacan metales como Zn, Al, Pb., Tabla 4. Por todo ello, la medida del pH del suelo también proporciona un criterio de selección de su agresividad.



Tabla 4. Relación entre el pH y la corrosividad:

pH	Medio	CORROSIVIDAD	PROTECCION CATODICA
< 4,0	Ácido muy fuerte	Muy agresivo	SI
4,0 - 4,5	Muy ácido	Muy agresivo	SI
4,5 - 5,0	Ácido	Muy agresivo	SI
5,0 - 6,0	Moderadamente ácido	Muy agresivo	SI
6,0 - 6,5	Poco ácido	Agresivo	SI
6,5 - 7,5	Neutro	No Agresivo	DEPENDE
7,5 - 8,5	Poco alcalino	No agresivo	DEPENDE
> 8,5	Muy alcalino	Condicionado	DEPENDE

2.4.2.2. POTENCIAL RED-OX

Se ha visto que el potencial de oxidación-reducción (red-ox) de un suelo cambia mucho de tratarse de un medio aireado a estar desprovisto de oxígeno (ambiente anaerobio). Ello ha servido para predecir el riesgo de corrosión anaerobia que puede sufrir un estructura enterrada y especialmente para los casos de corrosión bacteriana, pero no para dictaminar sobre otros tipos de corrosión.

A continuación en la tabla 5 se indican los valores de potencial red-ox en función del posible riesgo de corrosión anaerobia del suelo.

Tabla 5. Potencial Red-ox en función de corrosividad del suelo

POTENCIAL RED-OX	CORROSIVIDAD SUELO	PROT.CATODICA
< 100 mV	Muy agresivo	SI
100 - 200 mV	Moderadamente agresivo	SI
200 - 400 mV	Débilmente agresivo	SI
> 400 mV	No agresivo	DEPENDE



2.4.3 FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

2.4.3.1 Influencia de la temperatura:

La resistividad crece muy lentamente a medida que la temperatura disminuye hasta llegar al punto de congelación del agua. Por debajo del punto de congelación la resistividad crece rápidamente al disminuir la temperatura. Esto tiene importancia en zonas frías donde en invierno el suelo se congela hasta una cierta profundidad. En éstos casos, el sistema de tierra debe instalarse por debajo del nivel de congelación si se pretende un valor aceptable de la resistencia a lo largo de todo el año; por ejemplo, la temperatura disminuye de 20°C a -19°C, la resistividad puede aumentar alrededor de 200 veces. Debido a que la temperatura como la humedad son más estables a mayor distancia de la superficie, se concluye que un sistema de tierra, para ser más efectivo en cualquier época, deberá ser construido con las jabalinas hincadas profundamente. Este es el propósito que se persigue cuando se llega con el electrodo hasta la capa freática, en este caso, la resistencia no sólo es muy baja sino que también es estable.

2.4.3.2 Influencia de la humedad:

Cuando están completamente secos, casi todos los suelos tienen una resistividad del orden de aisladores perfectos. La resistividad disminuye rápidamente hasta que la humedad alcanza el 20% a partir de ese porcentaje sólo se consigue una leve disminución de la resistividad con el aumento de la humedad. Inversamente, por debajo del 15% la resistividad aumenta dramáticamente con la disminución de la humedad. Decreciendo la humedad del 30% al 5% la resistividad aumenta alrededor de 400 veces.



2.4.3.3 Efecto del contenido de sales:

Normalmente un terreno seco tiene alta resistividad, pero un terreno húmedo también puede tenerla si no contiene sales solubles, es decir el agua es muy blanda.

2.5 CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTIBLES

Introducción

En una refinería, el petróleo es convertido a una variedad de productos mediante proceso físicos y químicos. En una refinería, el petróleo es convertido a una variedad físicos y químicos.

El primer proceso al que se somete el petróleo en la refinería, es la destilación para separarlo en diferentes fracciones (Fig. 8)

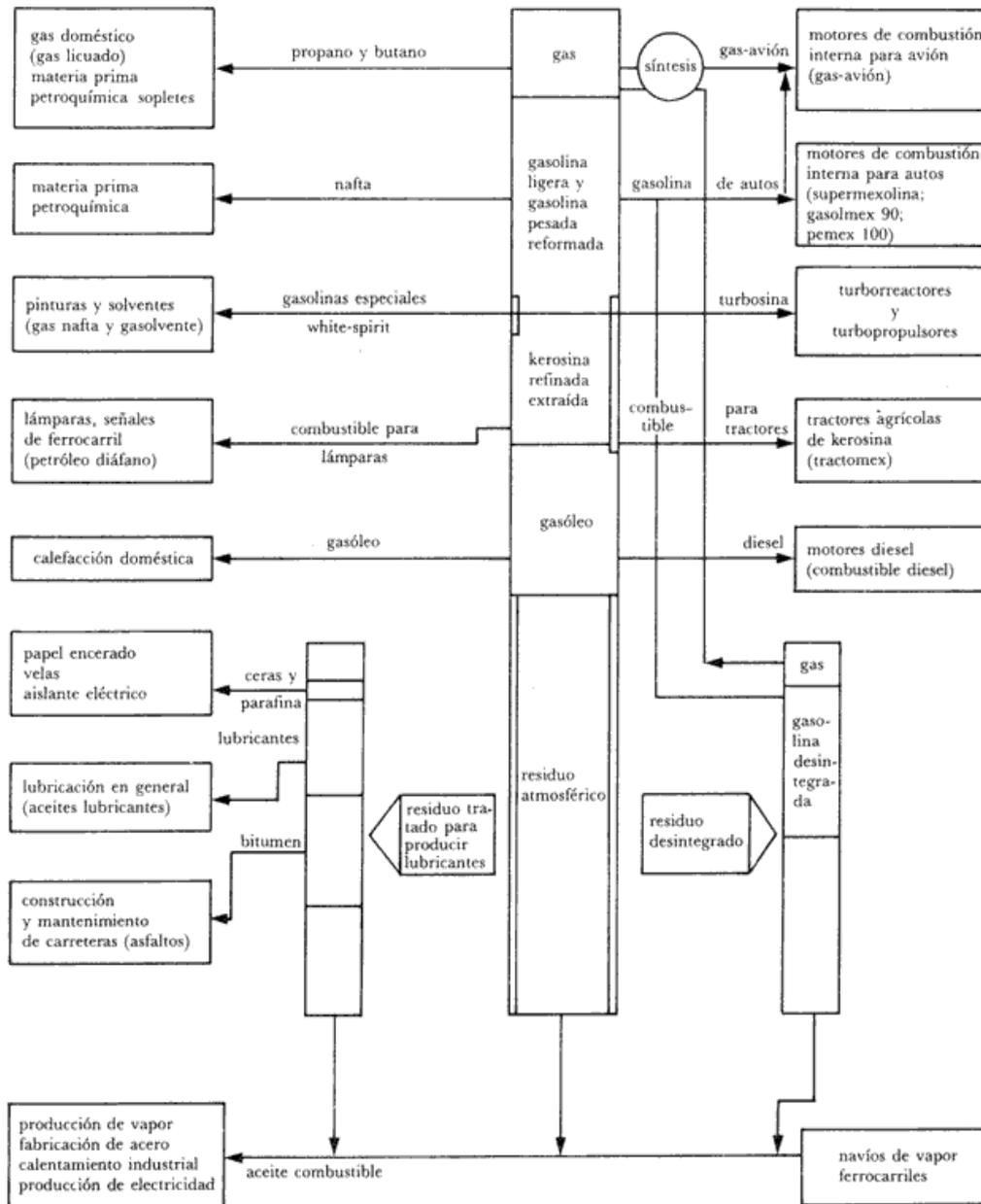


Fig. 8. Principales fracciones del crudo

2.5.1 Gasolina

2.5.1.1 Componentes

La gasolina es una mezcla de varios hidrocarburos, líquida a temperatura y presión normales e idónea para accionar motores de combustión interna con ciclo de Otto. Por ser una mezcla de diversos productos, la gasolina



no tiene un punto fijo de ebullición, sino una curva de destilación que comienza a 30 °C y termina, generalmente, antes de los 200 °C. Su peso específico varía entre 0,700 y 0,790 Kg./dm³. La gasolina para automoción se presenta mezclada con colorantes orgánicos sintéticos y en general contiene aditivos de varias clases.

Los hidrocarburos que componen la gasolina están comprendidos entre los que poseen 4 átomos de carbono y los que tienen 10-11 átomos de carbono (C₁₀ ú C₁₁). De las 4 clases en que se subdividen los hidrocarburos (parafínicos, nafténicos, aromáticos y olefínicos), la que predomina en el petróleo bruto es la clase de los hidrocarburos parafínicos (parafinas), que pueden ser de cadena lineal (n-parafinas) o ramificada (isoparafinas).

Las n-parafinas poseen una resistencia a la detonación inferior a la correspondiente a las isoparafinas. La propiedad de evitar que piquen las bielas de estas últimas aumenta en general con el grado de ramificación. De cualquier forma, las mezclas de n-parafinas e isoparafinas, presentes en el petróleo bruto en estado de equilibrio, tienen una resistencia a la detonación inferior a la necesaria para un correcto funcionamiento de los motores.

Los hidrocarburos nafténicos (naftenos) o cicloparafínicos tienen un poder antidetonante más elevado que las n-parafinas con el mismo número de átomos de carbono. Su concentración varía mucho de un petróleo bruto a otro, y su importancia está ligada a la relativa facilidad con que es posible transformarlos -por deshidrogenación- en hidrocarburos aromáticos.

Los hidrocarburos aromáticos se caracterizan por su elevado peso específico y por un poder antidetonante bastante elevado. Se encuentran en el petróleo bruto en cantidades limitadas, salvo algún tipo que los contiene en mayor proporción.



Los hidrocarburos olefinicos, caracterizados por poseer dobles enlaces carbono-carbono (ole-finias), no se encuentran normalmente en el petróleo bruto; su presencia se debe a especiales procesos de tratamiento.

Todo lo anteriormente expuesto, demuestra que para obtener gasolinas con características antidetonantes idóneas a las exigencias de los motores actuales, no basta con destilar la fracción de bruto comprendida entre 30 y 200 °C, sino que hay que transformar los hidrocarburos que contiene en otros de mayor poder antidetonante. Por consiguiente, la proporción de las distintas clases de hidrocarburos que componen la gasolina depende poco de la composición del petróleo bruto y, mucho de los procesos de refinación con que son obtenidas.

2.5.1.2 Características

El número de octano - Es el método para evaluar la resistencia a la detonación, a la que está ligada la característica más importante de la gasolina y la que, en definitiva, ha determinado la evolución técnica y ha sido la base de la elección de los procesos de producción. Se puede afirmar que el aumento de las potencias específicas del motor del automóvil se ha logrado gracias al poder antidetonante de la gasolina.

Peso específico - Es la relación entre el peso y el volumen de una sustancia determinada. El de la gasolina se expresa generalmente en gramos por litro. Muchas veces se emplea el peso específico relativo, es decir la relación entre el peso específico de la gasolina y el del agua a determinada temperatura.

El peso específico relativo de las gasolinas comerciales es de 0,730-0,760 para la calidad súper y de 0,710-0,740 para la normal.

Potencia calorífico - Denominada también poder calorífico, es la cantidad de calor que se desprende de la combustión completa de 1 Kg. de gasolina, y es tanto menor cuanto más aumenta su peso específico.



De esto se desprende que puede parecer ventajoso comprar gasolina de bajo peso específico porque tiene más calorías, pero consiste precisamente en todo lo contrario, ya que la gasolina se compra por volumen, no a peso, y, por consiguiente, debería considerarse la potencia calorífica referida al litro y no al kilogramo; teniendo en cuenta la siguiente tabla referida a la gasolina súper.

Tabla 6. Características de la Gasolina

Peso específico relativo	0.730 -0.760
Potencia calorífica	Kcal / kg. 10.512 -10.450
Potencia calorífica	Kcal / lit 7.674 – 7.962

Se deduce que comprando un litro de la gasolina más ligera se adquiere el 4 % menos de peso y el 3,75 % aproximadamente menos de calorías, con lo que en definitiva se obtendrá una potencia inferior.

Volatilidad - Está representada por la curva de destilación (algunos de cuyos puntos requieren especial consideración) y por la tensión de vapor. La curva de destilación indica a qué temperatura una gasolina comienza a evaporarse, es decir a hervir (punto inicial), a qué temperatura se evapora completamente (punto final) y el porcentaje que se evapora a temperaturas intermedias.

He aquí los límites de volatilidad normales de gasolinas de buenas características para el período estival

Tabla 7 Límites de Volatilidad

10% Destilado	50°C min
50% Destilado	95°C max
95% Destilado	175°C max
Destilado a 70 IC	30% max



2.5.1.3.3 Corrosividad - A veces la gasolina puede contener azufre libre o en forma de mercaptanos. En el primer caso, la gasolina tiende a atacar las superficies metálicas con que llega a ponerse en contacto, sobre todo si se trata de cobre y sus aleaciones; en el segundo caso, la gasolina, además de ser corrosiva, tiene mal olor, a causa de los mercaptanos. Estos inconvenientes se eliminan mediante procesos de purificación y suavización.

2.5.2 Diesel

2.5.2.1 Definición

En una refinería, el petróleo es convertido a una variedad de productos mediante procesos físicos y químicos.

El primer proceso al que se somete el petróleo en la refinería, es la destilación para separarlo en diferentes fracciones (fig. 7) La sección de destilación es la unidad más flexible en la refinería, ya que las condiciones de operación pueden ajustarse para poder procesar un amplio intervalo de alimentaciones, desde crudos ligeros hasta pesados. Dentro de las torres de destilación, los líquidos y los vapores se separan en fracciones de acuerdo a su peso molecular y temperatura de ebullición. Las fracciones más ligeras, incluyendo gasolinas y gas LP, vaporizan y suben hasta la parte superior de la torre donde se condensan. Los líquidos medianamente pesados, como la querosina y la fracción diesel, se quedan en la parte media. Los líquidos más pesados y los gasóleos ligeros primarios, se separan más abajo, mientras que los más pesados en el fondo. Las gasolinas contienen fracciones que ebullicen por debajo de los 200°C mientras que en el caso del diesel sus fracciones tienen un límite de 350°C. Esta última contiene moléculas de entre 10 y 20 carbonos, mientras que los componentes de la gasolina se ubican en el orden de 12 carbonos o menos.



El combustible diesel, también se manufactura, en muchos casos a partir de mezclas de gasóleos con querosines, y aceite cíclico ligero, el cual es producto del proceso de desintegración catalítica fluida.

En un tiempo, la manufactura de diesel involucró utilizar lo que quedaba después de remover productos valiosos del petróleo. Hoy en día el proceso de fabricación del diesel es muy complejo ya que comprende escoger y mezclar diferentes fracciones de petróleo para cumplir con especificaciones precisas. La producción de diesel estable y homogéneo requiere de experiencia, respaldada por un estricto control de laboratorio.

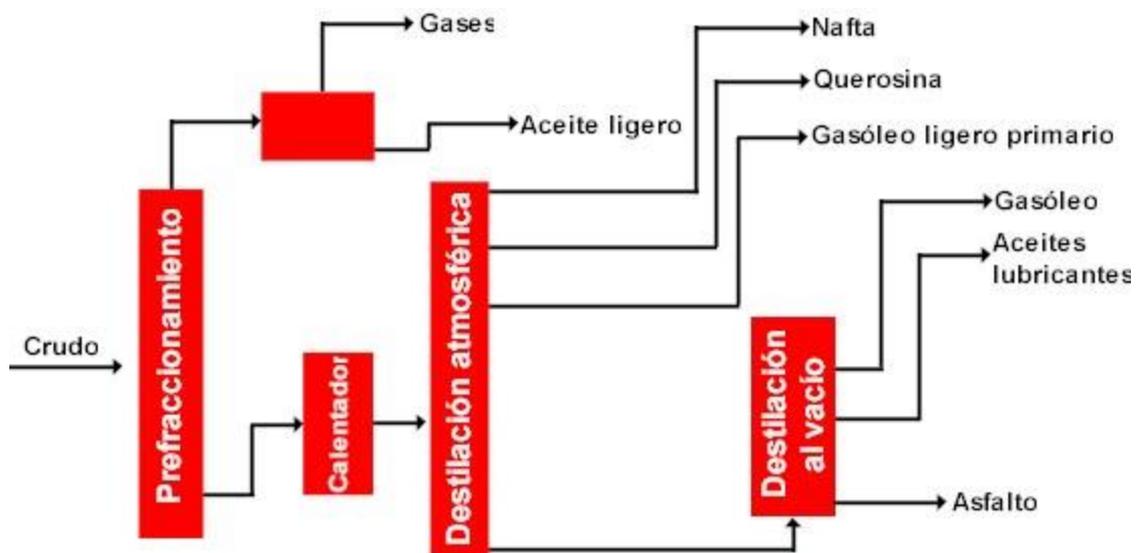


Figura 9 Proceso de obtención del diesel

2.5.2.2 Componentes del diesel

● Índice de Cetano

Así como el octano mide la calidad de ignición de la gasolina, el índice de cetano mide la calidad de ignición de un diesel. Es una medida de la tendencia del diesel a cascabelear en el motor.



El índice de cetano es una propiedad muy importante, sin embargo existen otras relevantes que caracterizan la calidad del combustible.

● **Azufre**

El azufre ocurre naturalmente en el petróleo. Si éste no es eliminado durante los procesos de refinación, contaminará al combustible.

El azufre del diesel contribuye significativamente a las emisiones de partículas (PMOs).

La reducción del límite de azufre en el diesel a 0.05 por ciento es una tendencia mundial. La correlación del contenido de azufre en el diesel con las emisiones de partículas y el SO₂ está claramente establecida.

Para poder cumplir con los requerimientos de niveles bajos de azufre, es necesario construir capacidades adicionales de desulfuración. Así como las unidades de desintegración catalítica (FCC), son primordiales para la producción de gasolina, la hidrodésintegración es fundamental para la producción de diesel. En ambos procesos la cuestión se enfoca en la selección de la materia prima alimentada.

2.5.2.3 Densidad y Viscosidad

La inyección de diesel en el motor, está controlada por volumen o por tiempo de la válvula de solenoide. Las variaciones en la densidad y viscosidad del combustible resultan en variaciones en la potencia del motor y, consecuentemente, en las emisiones y el consumo. Se ha encontrado, además, que la densidad influye en el tiempo de inyección de los equipos de inyección controlados mecánicamente.

● **Aromáticos**

Los aromáticos son moléculas del combustible que contienen al menos un anillo de benceno. El contenido de aromáticos afecta la combustión y la formación de PMOs y de las emisiones de hidrocarburos poliaromáticos.



El contenido de aromáticos influye en la temperatura de la flama y, por lo tanto, en las emisiones de NO_x durante la combustión. La influencia del contenido de poliaromáticos en el combustible afecta la formación de PMOs y las emisiones de este tipo de hidrocarburos en el tubo de escape.

● **Lubricidad**

Las bombas de diesel, a falta de un sistema de lubricación externa, dependen de las propiedades lubricantes del diesel para asegurar una operación apropiada. Se piensa que los componentes lubricantes del diesel son los hidrocarburos más pesados y las sustancias polares.

Los procesos de refinación para remover el azufre del diesel tienden a reducir los componentes del combustible que proveen de lubricidad natural. A medida que se reducen los niveles de azufre, el riesgo de una lubricidad inadecuada aumenta.



CAPITULO III

OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

La Protección Catódica es un método electroquímico cada vez más utilizado hoy en día, el cual aprovecha el mismo principio electroquímico de la corrosión. Para esto, el diseño requiere del cálculo de algunos parámetros importantes, como son: densidad eléctrica de protección, resistividad del electrolito y número de ánodos, entre otros.

Por otro lado, ante la fuerte inserción en el mercado ecuatoriano de los combustibles, una de las principales preocupaciones de Petroecuador en extender el período de vida útil de los tanques enterrados de 10 a 20 años en estaciones de servicio de la ciudad de Loja específicamente en la estación de servicio El Portal, con el propósito de salvaguardar la seguridad y mejorar así el servicio a sus clientes. Y ciudadanía en general

3.2. Desarrollo

El presente proceso pretende determinar la cantidad de corriente requerida para proteger catódicamente cada tipo de tanque y determinar la cantidad de masa anódica requerida para polarizarlo catódicamente durante 20 años. Las dimensiones de los 3 estanques es la misma, por lo que el cálculo solamente se realizará para uno de ellos.

3.2.1 Características del medio circundante

Los tanques a los que esta dirigida la investigación como se dijo anteriormente están colocados subterráneamente y alrededor de los mismos se encuentran rodeados de :

ARENA DE MINA: Arena producto de erosión de rocas ígneas específicamente granito del sector Catamayo Loja Ecuador, la cual tiene las siguientes características.



En muestras analizadas en el laboratorio de electrónica y química del Instituto Superior Minero Metalúrgico se han obtenido los siguientes resultados:

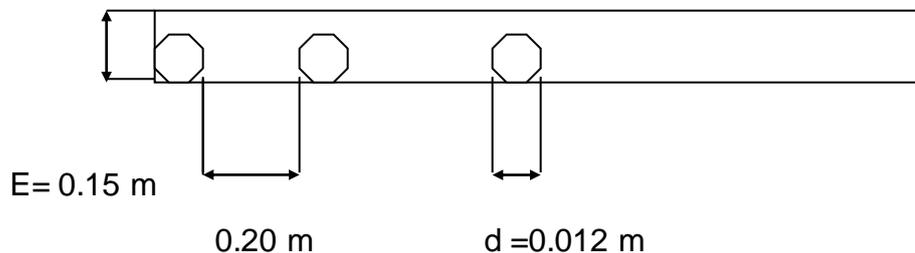
Tabla 8. Estudio de suelo circundante

PESO	% DE HUMEDAD	PH	RESISTIVIDAD
292 gr.	35 %	7.0 neutro	400-600Ohm/m ²

Por tanto tomando estos datos se ha determinado una protección por ánodos de sacrificio para lo cual se hará la selección, de los ánodos necesarios y su material.

Los tanques además de estar recubiertos con la arena sobre ellos se extiende una capa de Hormigón ciclópeo que tiene algunas de las siguientes características que se demuestran en el siguiente grafico :

Resistencia de el concreto $R = 180 \text{ Kg./cm}^2$.



E = espesor concreto

d = diámetro de varilla

Figura 10. Características de Hormigón Ciclópeo

3.2.1.1 DIMENSIONES DE LOS TANQUES

Son en un numero de tres:

$D = 2.5 \text{ m}$

$L = 7 \text{ m}$

$e = 6 \text{ mm}$



acero al carbono ASTM A-53

Soldado con cordón continuo de 7 mm de ancho

Electrodo R_76

3.2.2 CÁLCULO DE SUPERFICIE A PROTEGER

El cálculo de la superficie exterior a proteger depende de la forma constructiva y geometría del depósito. En este caso, se trata de tanques con geometría cilíndrica, por lo que el área total exterior se calcula:

$$A_T = A_{LC} + A_c; [m^2] \quad .1$$

Donde:

A_{LC} : Área lateral del cilindro, $[m^2]$

A_c : Área de los cabezales del cilindro, $[m^2]$

Para el cilindro, el área lateral se calcula:

$$A_{LC} = \pi \cdot d \cdot L \quad .2$$

Donde:

d: Diámetro del cilindro, $[m]$

L: Longitud del cilindro, $[m]$

Mientras que el área de un cabezal:

$$A_c = \pi \cdot d^2 / 4 \quad .3$$

Y para los dos cabezales:

$$A_c = \pi \cdot d^2 / 2 \quad .4$$



Como se planteó anteriormente, los tanques a proteger (tres en total), poseen un diámetro de 2,5 m y una longitud de 7 m; por lo que sustituyendo estos valores en (2) y (4) y finalmente en (1), se tiene:

$$A_{LC} = 54,978 \text{ m}^2$$

$$A_C = 4,908 \text{ m}^2$$

$$A_T = 59,886 \text{ m}^2$$

Debido a la existencia de inexactitudes en la longitud, el diámetro y otras originadas por la presencia de sobre-espesores de soldaduras y rugosidades, etc., se aplica un factor de tolerancia superficial máximo igual al 5 % y la superficie exterior sería:

$$A_T = 1,05.(59,886) = 62,881 \text{ m}^2$$

En la Tabla 9 se muestran los parámetros y características constructivas de los tanques.

Tabla 9. Parámetros y características constructivas de los 3 tanques.

Capacidad GI	Unidad	Diámetro [m]	Longitud [m]	Factor de tolerancia	Area total [m ²]
10000	m ²	2.5	7	1.03	61,68

3.2.3 Corriente de protección.

En el cálculo de la corriente de protección intervienen varios factores, donde los más importantes son la cantidad de corriente que requiere el revestimiento para polarizar al tanque y la cantidad de corriente que puede suministrar el ánodo. Esta última debe ser mayor que la demandada.



El primer paso para determinar el valor de la corriente de protección, es establecer la resistividad del electrolito. La resistividad del electrolito es una propiedad de cada terreno donde se enterrará el estanque y depende del grado de saturación o calidad del terreno.

Tal como se indico en la tabla 8 del estudio realizado la resistividad es:

$$R = 600 \text{ Ohms/m}^2$$

En el presente trabajo al no realizarse pruebas físicas del requerimiento de corriente al encontrarse los tanques enterrados, una densidad aceptable de la corriente es de :

$I_d = 3 \text{ miliamp/0.9m}^2 \text{ (pie}^2\text{)}$ (Según Denny A Jones “Principios y prevención de la corrosión”)

Tenemos que la corriente requerida será:

$$I = \frac{A \times I_d}{1000} \quad 5$$

Donde

I = Corriente requerida en amperios

$I_d = 3 \text{ mA} \times \text{m}^2$ Densidad de Corriente requerida en miliamperes por m^2

$A = 62.881 \text{ m}^2$ Superficie a proteger

Por tanto

$$I = \frac{62.881 \text{m}^2 \times 3 \text{mA} / \text{m}^2}{1000}$$

$$I = 0.188643 \text{ mA}$$

El nivel requerido de protección catódica es muy pequeño, por lo que dicha protección puede ser aplicada muy eficientemente.

Para este caso, se toma como intensidad de corriente requerida para polarizar catódicamente cada tanque

$$I_{sal} = 0.188643 \text{mA.}$$



Tabla 10. Corriente salida

	Área total [m ²]	Densidad de corriente mA/m ²]	I _{sal.} [mA]
Tanque 10000gl.	62.881	3	0.188643

Una vez determinada la demanda de corriente y resistencia del electrolito o medio que lo rodea se ha procedido a realizar la protección por ánodos de sacrificio para lo cual es necesario seguir con el procedimiento siguiente.

3.2.4 Selección del ánodo mas adecuado

Luego de estudiar el medio en el que se encuentra nuestro objeto de estudio y determinar el grado de agresividad y las condiciones a las que estará sometido el tanque se ha hecho una exhaustiva búsqueda en la cual se ha podido percatar que los ánodos para sacrificio de Magnesio (véase anexo 8) cumplen las condiciones para ser utilizados como alternativa en los objetivos propuestos algunas de sus características son las siguientes:

Ánodo de sección circular.

Tabla 11. Características de ánodo Circular

Ref	Dimensiones Totales				Dim. Exteriores			Radio Equiv	R (Ohm) En 100000 Ohmx m	Corriente Liberada En mA
	Kg.	Lb.	D mm	long mm.	D mm	long. mm.	Kg.			
C36	14. 5	32	146	508	195	590	29	73	7.29	96.0

De los metales empleados como ánodos de sacrificio, el magnesio es el que tiene el potencial de circulación más alto, por lo que es el que se



suele emplear para proteger catódicamente el acero en electrolitos de mayor resistividad, en donde el aluminio y el zinc pueden resultar antieconómicos.

Para el acero al carbono del tipo ASTM A-53, la diferencia de potencial útil de la tiene una disponibilidad de 0,80 V. Aplicando un criterio conservador para el potencial libre y disponible del ánodo durante su vida media, en el cálculo de la corriente entregada por éste, se considera el valor DV = 0,75 [V].

3.2.5. Cantidad de ánodos.

Para determinar la cantidad **N** Ánodos a instalar a cada lado del estanque se aplica el criterio de masa neta mínima requerida. Considerando un factor utilización del ánodo equivalente al 50 % de su masa neta. La mínima masa de la aleación de Mg con capacidad de corriente de 1.100 [A-hr/Kg] que satisfaga los 20 [años] de PC, calcula como sigue:

$$M = \frac{V.U.I_{sal} 8.760}{Cc.f} \quad 6$$

$$M = \frac{20 \times 0,188643 \times 8760}{1102 \times 0,70}$$

$$M = 20.99 \text{ Kg.}$$

Donde:

M = Masa anódica requerida [Kg.].

$V.U.$ = Tiempo mínimo de vida útil requerida de la P.C. es de 20 [años].

$Cc.$ = Capacidad de corriente del ánodo de Mg según peso, de 1.100 [A-hr/Kg.].

f = Factor de eficiencia en la vida útil del ánodo es de 0,70. (ref.: NACE, 1992.)

I_{sal} = Corriente requerida en [mA] para proteger cada tanque.

8.760 = Cantidad de horas que tiene un año [h/año].

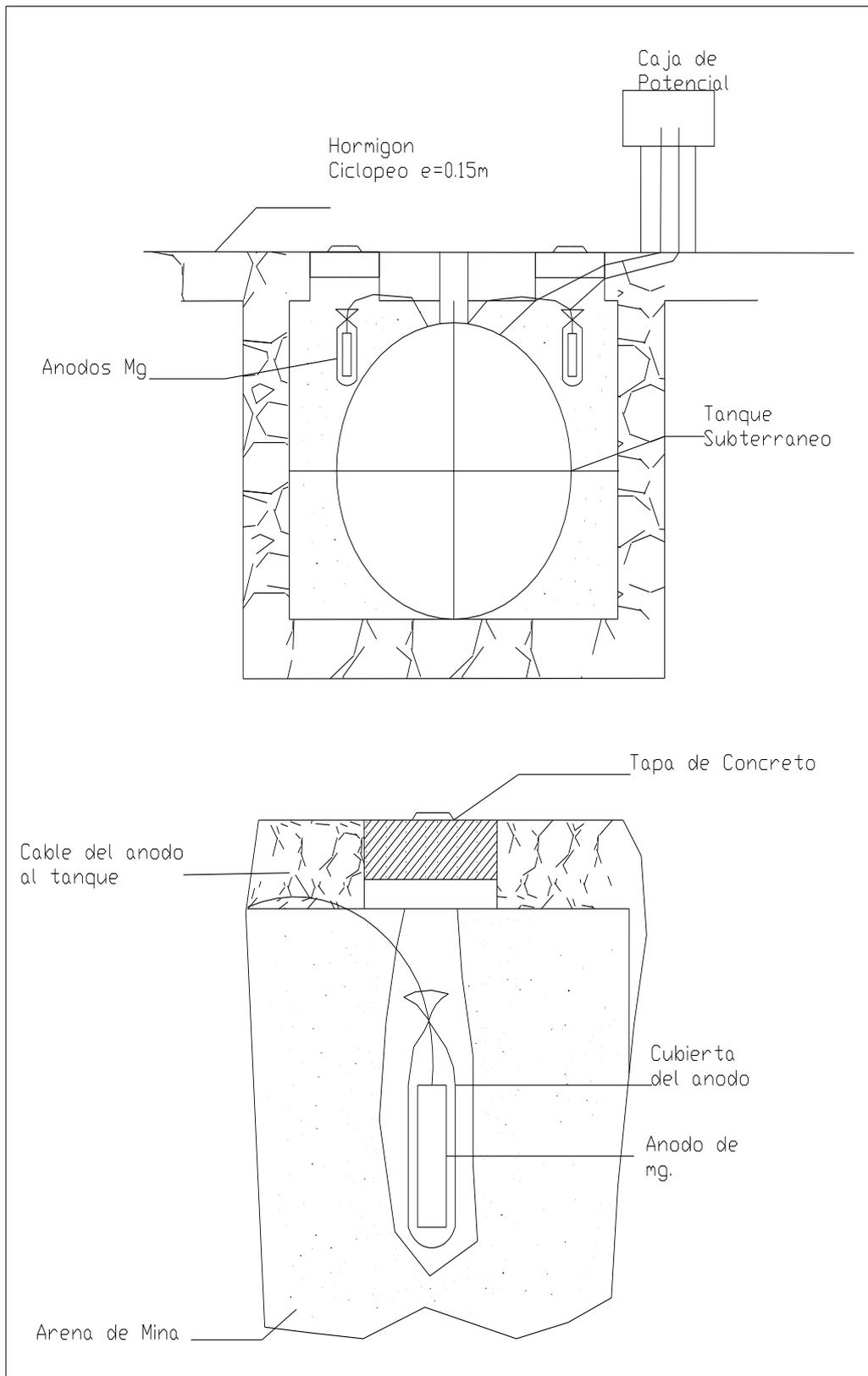


Fig. 11.b. Instalación de Ánodos Galvanicos



.3.2.7. INSPECCION Y CONTROL.

- **Instrumental mínimo requerido:** Para la medición de potenciales y la aislamiento del estanque se requiere a lo menos del siguiente instrumental:

1. • Voltímetro: Utilizar un voltímetro digital con impedancia ³ a 10 [Mega Ohm]

- **Medición de potenciales desde el T.S:** Se realizaran mediciones de potencial respecto a un electrodo permanente y portátil de Cu/CuSO₄ anualmente. Anexo 11

1. • Electrodo permanente (estado gel): Conectar el polo positivo del voltímetro en el cable con conexión al tanque (color negro) y polo negativo del instrumento en el cable del electrodo permanente de Cu/CuSO₄ (color amarillo).

2. • Electrodo portátil: Conectar el polo positivo del voltímetro en el cable con conexión al estanque (color negro) y polo negativo del instrumento en el cable del electrodo portátil de Cu/CuSO₄ propio del inspector. El electrodo deberá ser ubicado en la superficie, sobre el eje longitudinal del estanque y previo humectación el suelo.

- **Rango de valores esperado:** Los valores de potenciales del estanque enterrado deberán estar comprendidos dentro del rango de -0,85 [V] a -1,6 [V] según (Fig. 12)

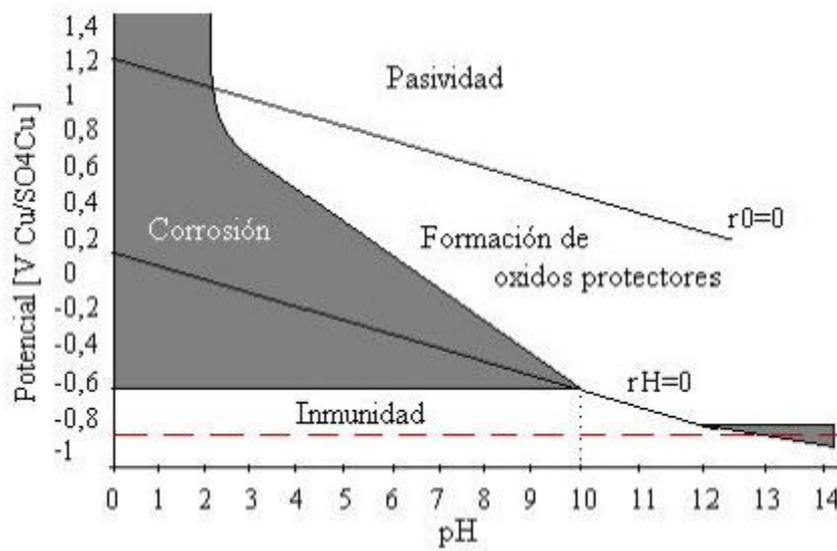


Fig. 12 Termodinámica de la corrosión del hierro (Ref: Diagrama Pourbaix)



CAPITULO IV

VALORACION AMBIENTAL Y ECONOMICA

4.1 VALORACION ECOLOGICA Y AMBIENTAL

4.1.1 Introducción

Los Tanques Subterráneos de Almacenamiento se utilizan en muchos sectores de la industria para el almacenamiento de productos de petróleo. Son utilizados por la industria petrolera para la distribución de sus productos, por la industria del transporte, por los agricultores, estaciones de servicio, colegios, hospitales, industria y gobierno.

La filtración de los tanques enterrados es causa de una creciente preocupación de seguridad pública y ambiental. Millones de tanques enterrados se han instalado en el mundo durante más de 60 años. Muchos de estos tanques están hechos de acero al carbón sin protección y pueden corroerse. Esta corrosión penetra eventualmente en el tanque causando una filtración y los productos petroleros ingresan en la tierra. Esto puede dar origen a:

- vapores volátiles que ingresan a los sótanos y desagües ocasionando riesgos de salubridad y explosión.
- Las filtraciones pueden introducirse y causar una contaminación considerable del agua subterránea.
- las filtraciones contaminarán el suelo

Sólo en Estados Unidos existe un estimado de 2.5 millones a 5 millones de tanques subterráneos. Más de la mitad de éstos contienen gasolina cuyos constituyentes químicos podrían incluir el plomo, benceno, tolueno, bibromuro de etileno, y bicloruro de etileno. Un estimado de un millón de tanques subterráneos tienen más de 16 años y alrededor de 700,000 se estiman estarían filtrando (aproximadamente el 25 %).

4.1 .2 Incidencia de la corrosión sobre el medio ambiente

En los últimos años se ha dado gran atención a los cada vez mayores problemas que presenta la corrosión metálica, provocados por el progresivo deterioro del medio ambiente. Numerosos trabajos han puesto



de relieve la influencia de la contaminación atmosférica, especialmente en zonas urbanas e industriales, sobre la velocidad de corrosión de diferentes materiales. Los estudios han incidido en la relación que la contaminación del medio ambiente ejerce sobre la corrosión. En cambio, se ha dedicado mucha menos atención a la relación inversa, el efecto que la corrosión tiene sobre el medio ambiente. Esto podría ser debido a que la acción de la corrosión sobre el medio ambiente suele presentarse de una manera menos general, con efectos más puntuales, tanto en su localización como en el tiempo, si bien casi siempre revestidos de gravedad. Por otra parte, la misma naturaleza de este tipo de problemas hace que en ellos se encuentren comprometidos técnicos como ingenieros de proceso o jefes de seguridad, la mayoría de las veces poco interesados en los fenómenos de corrosión. Cabe señalar aquí las propuestas realizadas con anterioridad con el objeto de mejorar la formación de recursos humanos en corrosión.

4.1.2.1 Formas de incidencia en el medio ambiente

Debido a la gran variedad de industrias presentes en el sector químico, el impacto ambiental puede tener diferentes grados y características. Ahora bien, es evidente que su primera manifestación es la fuga de un gas o de un líquido. Las consecuencias de esta fuga dependerán de las propiedades del fluido. Si éste es combustible, ocasionará fácilmente un incendio o la formación de una nube inflamable, con posterior explosión. Si es tóxico, puede formar una nube o simplemente difundirse en el aire. Las diferentes posibilidades han sido esquematizadas en la figura 13, en forma simplificada.

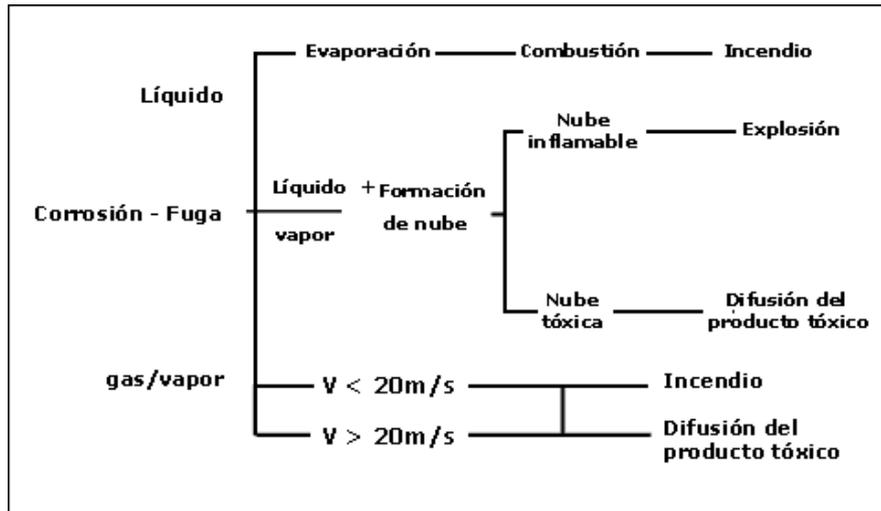


Figura13. Efectos de la corrosión sobre el ambiente.

Las consecuencias finales, así, consisten en la fuga al ambiente de calor o productos de diversa toxicidad. En ocasiones puede formarse una nube, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas de la fuga, que si es inflamable producirá probablemente una explosión, y si es tóxica y de densidad parecida o superior a la del aire puede tener consecuencias graves para la población.

En la (fig. 14) se presenta una comparación de los incidentes debidos a grietas en tuberías durante el periodo 1979-1983. Con el nombre de incidente debido a una grieta entendemos la identificación de las mismas basada en exámenes llevados a cabo mediante ultrasonidos, líquidos penetrantes, metalografía destructiva o el reporte de fugas. Los sistemas de tuberías afectados en los reactores tipo BWR incluyen las líneas de recirculación, eliminación del calor residual, limpieza del reactor; condensador de aislamiento y sistema de retorno de las barras de control. Los diámetros de las tuberías afectadas oscilan entre las 3 y las 28 pulgadas (75 y 710 mm).

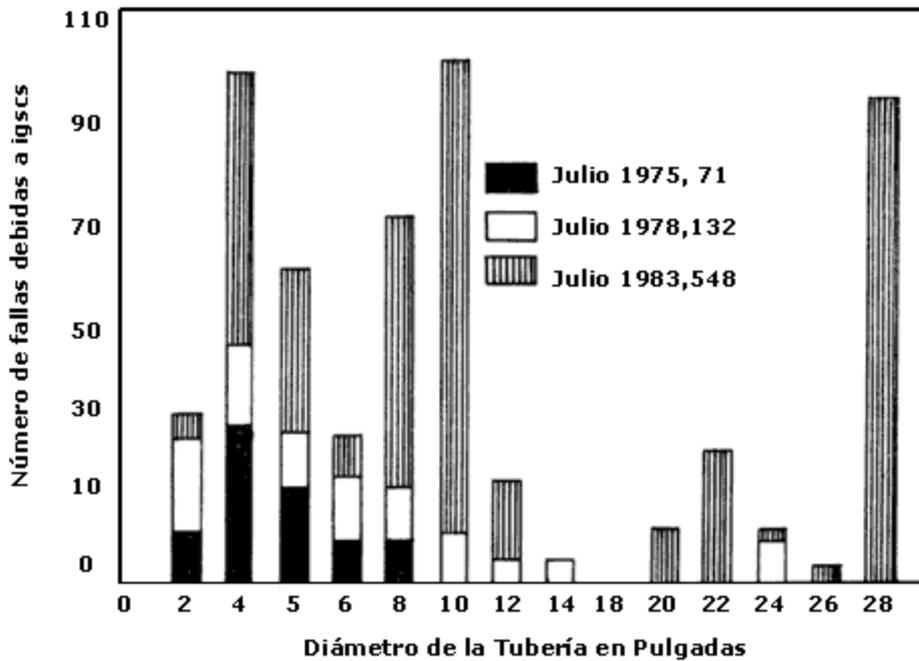


Fig. 14. Fallas por agrietamiento de tuberías en el mundo.

Tras estos estudios se concluyó que la mayoría de los defectos eran grietas, debidas a corrosión intergranular bajo tensión (IGSCC).

4.1.3 Efecto de protección catódica

Tanto la protección con Ánodos de Sacrificio como la Aplicación de Corriente impresa pueden utilizarse con tanques enterrados de acero. El método de Corriente impresa transmite corriente continua a un electrodo enterrado (ánodo), a través del suelo (electrolito), hacia el tanque (cátodo). El sistema debe ser diseñado por un ingeniero en corrosión ya que ésta podría acelerarse si no se diseña e instala correctamente. El sistema puede proteger un área de superficie bastante extensa como un tanque de acero sin revestir o la tubería.

El método de Ánodos de Sacrificio utiliza ánodos de un material de mayor potencial (zinc o magnesio) que la del tanque (hierro o acero) y que se corroe más rápido que el tanque. El sistema debe ser diseñado por un ingeniero en corrosión. El tanque debe ser revestido con un material dieléctrico adecuado y debe ser aislado de otras estructuras. Los ánodos deben ser del tamaño y número adecuado para el suelo y deben estar



correctamente colocados. El ánodo debe enterrarse en el suelo natural (no en material de relleno), con la parte superior del mismo aproximadamente 60 cm. (2 pies) por debajo de la zanja de la tubería. Después de haberlo enterrado, el ánodo debe ser empapado con aproximadamente 20 litros (5 galones) de agua con el fin de activarlo. Los ánodos pueden estar conectados a la tubería mediante soldadura o abrazaderas eléctricas y la unión debe estar forrada con un tipo de revestimiento aprobado.

Tal como ya se indicó, existen dos tipos de ánodos, de magnesio y de zinc. Los de magnesio protegerán una extensa área, pero durante un período de tiempo más corto. Los de zinc, por otro lado, proporcionan menos protección que los de magnesio pero durante un extenso período. Una vez concluido el proceso de rellenado del sistema e instalado el sistema de protección catódica, los ingenieros en corrosión deberán activar (eléctricamente) y evaluar el sistema para obtener la protección requerida antes de que se coloque concreto o asfalto sobre el sistema.

4.1.4. Monitoreo de tanques en servicio

Dos beneficios de la detección de filtraciones son obvios cuando se consideran los altos costos de la limpieza y tratamiento de los productos filtrados, costos que pueden aumentar rápidamente si la filtración no se detecta durante algún tiempo. El costo de reemplazo de un tanque que está filtrando o está corroído ("casi filtrando") es de aproximadamente 6.000 a 8.000 USD en el mercado local pero el costo de recuperación del suelo y el agua subterránea de un tanque que está filtrando puede exceder los 20.000 dólares que aumenta si la filtración continua. Una propuesta conservadora con respecto al reemplazo de un viejo tanque y el monitoreo de una filtración continua es claramente aconsejable.



.4.1.5. Información a la comunidad

Donde existen instalaciones de tanques enterrados, es importante para las comunidades entender los peligros potenciales de la contaminación de suelos y agua.

Al respecto, se espera que las compañías informen a los líderes y autoridades de la comunidad sobre las técnicas de recuperación que se podrían utilizar para restaurar el medio ambiente cuando se ha producido contaminación en tierras o en aguas bajo su jurisdicción.

La administración de la compañía y los líderes comunitarios deben propiciar un acercamiento cooperativo para la eliminación y prevención de futuros impactos adversos cuando se ha producido contaminación y se está trasladando de una jurisdicción a otra.

Cuando se planifiquen nuevas instalaciones o grandes alteraciones a los sistemas ya existentes, deberán incluirse a las autoridades comunitarias en el proceso de planeamiento, ya que pueden proporcionar asesoría con respecto a la infraestructura local y las condiciones ambientales. Esto también les dará la oportunidad de estar concientes del nivel de evaluación ambiental del lugar que se debe haber realizado antes de la construcción, y de las garantías ambientales que se ofrecerán para proteger el medio ambiente. La compañía deberá iniciar una evaluación ambiental del lugar.

4.1.6. Impacto ambiental de la instalación de P.C. en los tanques de Estación de Servicio El Portal

La instalación del sistema propuesto tiene una ligera influencia directa sobre el medio ambiente en el sentido que al utilizarse ánodos de magnesio preempaquetados y los mismos sometidos a un proceso de degradación estos afectaran el suelo en el que estarán ubicados aunque el tiempo de vida útil de los ánodos seleccionados garantiza que la influencia de dicho desgaste es a largo plazo y se puede decir que despreciable.



4.2 VALORACION ECONOMICA

4.2.1 Introducción

Al hacer un análisis económico del trabajo desarrollado es enfocado a la factibilidad de implementar una actualidad tecnológica en la protección catódica en estructuras metálicas subterráneas.

En este caso específico haciendo foco de estudio los tanques subterráneos de almacenamiento de combustible de la estación de servicio el portal de la ciudad de Loja

Algo que se debe dar importancia es que esta tecnología en nuestro país es casi desconocida por lo que al poner de manifiesto este diseño tecnológico se abre nuevos campos de aplicación de un sistema nuevo e innovador a nuestro medio.

Al hacer la valoración económica de implementar el sistema anticorrosivo y tomando como parámetros las condiciones actuales en las que se encuentran los tanques objetos de nuestro estudio. Se ha llegado a determinar que sería necesario realizarlo por etapas, esto es se necesitaría de obra civil y de la instalación del sistema en si.

4.2.2 Obra civil

La obra civil consistiría en realizar en los lugares en donde estarán ubicados los ánodos unos boquetes en el hormigón capaz de que lleguen al suelo arenoso que rodean los tanques.

Al realizar estos trabajos se tabula lo gastos de la parte civil de la instalación

Tabla 14 Obra civil

TAREAS	COSTOS
Romper pisos	200 USD
Excavación	100 USD
Construcción de las tapas	100 USD
TOTAL DE GASTOS	400 USD



- Cabe indicar que los costos incluyen mano de obra

De los datos expuestos anteriormente se hace un balance de lo que significaría la obra civil de Construcción de los lugares en que se ubicarían los ánodos.

Gasto total = 400 USD

Que vendría a ser un gasto factible en implementar este novedoso sistema .

Se debe tomar en cuenta que al hacer la instalación de este sistema debemos percatarnos que si se lo realizara en el momento de la instalación los tanques estos costos disminuirían de alguna manera .

(Datos proporcionados por Arq. Hootan Forootan T. Gerente General del CONSORCIO FOROOTAN)

4.2.3 GASTOS DE INSTALACION DEL SISTEMA PROPUESTO

Tabla 15. Listado de Materiales

Nº	DESCRIPCION	VALOR USD
1	Caja de toma de potencial de 100 x 100 mm. en aleación de aluminio IP65, con cierre mediante tornillos de cabeza triangular. Gris. Placa de montaje con tres bornes, una entrada 1" NPT en cara inferior, acoplamiento 1 1/2" y tubo soporte de acero galvanizado de 1 1/2" y 2 m de longitud.	137.14
2	Descargador de sobretensión.	3.22
3	Base para descargador	27.15
4	Electrodo de referencia cerámico, permanente de Cu/So4cu.	34.14
6	Encapsulación Handy-cap.	5.49
7	Ánodo de magnesio C154 14.5 Kg.	55.04
9	Pica de cinc de 35 x 35 x 1.500 mm.	46.12
		325.41

Estos gastos de material al ser tres el número de tanques a proteger se triplicarían lo que no daría un total de:

967.23 USD

Para la instalación de el sistema propuesto se necesita de mano de obra calificada que para este caso sería de :



Tabla 16. Mano de obra Técnica

	Tiempo de Trabajo	Salario
Ingeniero	40 horas	700 USD
Técnico	40 horas	300 USD

Al recabar lo gastos de la obra civil sumada a los gastos de materiales a utilizar en el sistema conjuntamente con la mano de obra a utilizar tenemos los siguientes resultados:

Obra civil.	400.00 USD
Gastos de Material.	967.23 USD
Mano de Obra Técnica	<u>1000.00 USD</u>
TOTAL	2367.23 USD

Cabe recalcar que el costo de cada tanque de 10000 galones tiene un precio de **6000 USD** en el mercado local los que al ser un total de tres seria un costo de **18000 USD**



CONCLUSIONES

- En el cálculo realizado se consideró una agresividad media de 6000 [Ohm-m²], lo que significó que a menor agresividad, los ánodos deben tener menor resistencia y mejor distribución de la corriente al estanque. Se calculó también una corriente de salida, por los ánodos, que resultó ser mayor que la solicitada por el revestimiento.
- Al determinar los factores que influyen mas significativamente en el proceso de corrosión de los tanques se logro determinar que los ánodos de Magnesio son los mas recomendados para este diseño y las condiciones que los influyen
- Con la selección del sistema de protección catódica se ha desarrollado una metodología a seguir para la instalación en el lugar de estudio.
- Hecho el balance Económico de los egresos que significaría realizar la instalación debido a las condiciones civiles en las que se encuentran los tanques actualmente y lo representaría la sustitución de los mismos resulta más ventajoso hacerlo al momento de la instalación de lo tanques.
- Cabe indicar que la protección catódica eleva en un 100% la vida útil de lo tanques ya que la corrosión en un corto lapso de tiempo empezaría a hacer un deterioro notable en el acero del que están contruidos los tanques.



RECOMENDACIONES

- Mantener una metodología de monitoreo constante de el Sistema de la instalación propuesta
- Mantener como respaldo una medida de contingencia de protección a la comunidad en caso de una eventual fuga de combustible de una posible causa de corrosión ocurrida antes de la instalación del sistema.
- La aplicaron inmediata de el sistema propuesto hará que la corrosión deje de hacer mella en los tanques que se encuentran en un lugar que por su naturaleza es mas corrosivo que al ambiente.
- Un sistema de este tipo de protección debe procurarse hacerlo antes de la instalación de los tanques.



BIBLIOGRAFIA

1. Scully J.C Fundamentos de la Corrosión, editorial Alhambra España ,(1968)
2. Uhlig H.H Corrosión and Corrosión Control, Edición Revolucionaria Instituto Cubano del Libro, Vedado ,Habana (1962)
3. Tytell. Bory H. Theory of Corrosion and protection of metals Edición Revolucionaria Instituto Cubano del Libro, (1965)
4. Gilbert W. Castellán, *Fisicoquímica*, 2ª ed. , México, Addison Wesley Iberoamericana (1998)
5. P.W. Atkins, *Química física*, 6ª ed , Barcelona, Editorial Omega (1999)
6. Philip H. Rieger, *Electrochemistry*. 2ª ed., New York, Chapman & Hall, (1994)
7. Cátedra Instalaciones Eléctricas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata
8. Pozo y Winkelmann, 2002,
9. Denny A Jones. Principios y prevención de la corrosión (2000)
10. Peabody A.W., Control of Pipeline Corrosion, NACE, Houston, 1967



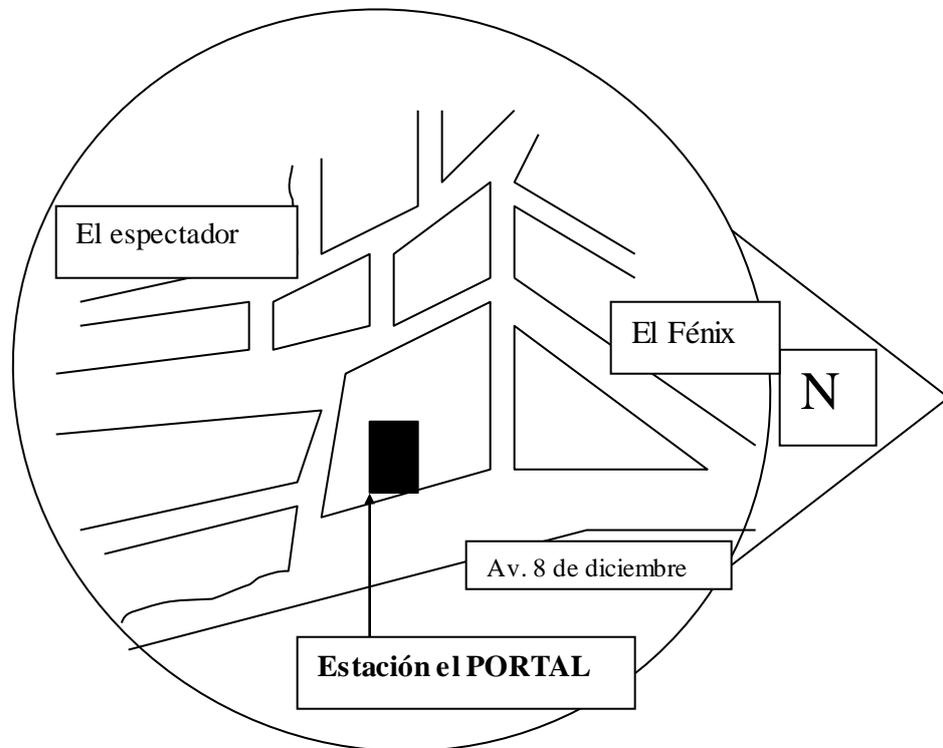
Paginas electrónicas

http://www.arrakiss.es	Principios de Protección Catódica
http://www.lectura.ilce.edu.mx:	Estado del Arte
www.members.tripod.com	Selección de Ánodos
http://www.monografias.com.	Principios de Protección Catódica
www.cre.gob.mx/registro/	Diferencias de Protección Catódica
http://cabierta.uchile.cl/revista/14/articulos/pdf/14_9.pdf	Mas allá de la Herrumbre
http://members.tripod.com/~lizgarcia_2/corrosion1.htm	Teoría y practica de control de corrosión de estructuras subterráneas
www.wwiprocat.com	Instalación de ánodos



ANEXO I

UBICACIÓN GEOGRAFICA DE ESTACION DE SERVICIO EL PORTAL





ANEXO 2. ESTADO DE LOS TANQUES







ANEXO 3

Características de Pintura Anticorrosiva

Recubrimiento actual con la pintura anticorrosiva.

Los tanques subterráneos al momento de la instalación fueron recubiertos con una capa de pintura anticorrosiva llamada Igol Denso de la cual se tiene las siguientes características.

IGOL DENSO de sika

DESCRIPCION:

Igol denso es una solución de asfaltos refinados reforzada con elastómeros y compuestos plastificantes adhesivos resistentes al vapor no contiene alquitranes y no es emulsión

USOS

- Para proteger e impermeabilizar superficies enterradas muros de contención, sobrecimientos, jardines y tanques
- Como protector de metales contra la oxidación y suelos ácidos
- Por su alta viscosidad es apropiado especialmente para pegar proteger aislamientos térmicos en tuberías de refrigeración, aire acondicionado, y aislamientos acústicos.
- Para impermeabilizar tanques o depósitos de líquidos no aptos para el consumo humano.

VENTAJAS

Viene listo para la aplicación

- Por su viscosidad se puede aplicar fácilmente con llana metálica
- Forma una capa impermeable que se adhiere a superficies previamente tratadas con igol imprimarte
- Una vez curado no se escurre por efectos del calor solar
- Forma barrera de vapor

MODO DE EMPLEO

La superficie debe de estar limpia libre de material suelto, seca.

Debido a su consistencia se debe aplicar 2 manos para su mayor protección

Es importante mejorar su adherencia aplicando primero igol impermeante

RENDIMIENTO

1 Kg./m² aprox. para el tratamiento completo



PRECAUCIONES

Conservar el empaque cerrado durante su aplicación para aplicar en recintos cerrados se debe dotar estos de ventilación adecuada y evitar llama directa o chispas, puesto que el producto contiene solventes volátiles

PRESENTACION

lata 3 kilogramos
balde de 20 Kg.
tambor de 200kg

ALMACENAMIENTO

El tiempo de almacenamiento es de 24 meses en su envase original bien cerrado , en lugar fresco, bajo techo.

DATOS TECNICOS

COLOR: negro
densidad: 1,00Kg/lit
secado al tacto 20o C 1 hora aproximada

USO FRECUENTE DE IGOL DENSO

- En impermeabilización de jardineras
- En la protección de estructuras cerradas cisternas para evitar que escapes de alcantarilla penetren en las cisternas y contaminen el agua potable
- La presencia de agentes agresivos penetren el concreto y oxiden el acero de refuerzo
- En sótanos de edificios para evitar que el agua penetre en el interior y ocasione inundaciones, y daños en los acabados
- En postes de madera para evitar que se pudran por la humedad



ANEXO 4.

Serie electroquímica de los metales

Sistema	Semirreacción	Potencial E°, V A 25°C
Li ⁺ / Li	Li + 1e ⁻	-3.045
K ⁺ / K	K ⁺ + 1e ⁻	-2.925
Cs ⁺ / Cs	Cs ⁺ + 1e ⁻	-2.923
Ba ²⁺ / Ba	Ba ²⁺ + 2e ⁻	-2.90
Sr ²⁺ / Sr	Sr ²⁺ + 2e ⁻	-2.89
Ca ²⁺ / Ca	Ca ²⁺ + 2e ⁻	-2.87
Na ⁺ / Na	Na ⁺ + 1e ⁻	-2.714
Mg ²⁺ / Mg	Mg ²⁺ + 2e ⁻	-2.37
Al ³⁺ / Al	Al ³⁺ + 3e ⁻	-1.66
Mn ²⁺ / Mn	Mn ²⁺ + 2e ⁻	-1.18
Cr ²⁺ / Cr	Cr ²⁺ + 2e ⁻	-0.913
V ²⁺ / V	V ²⁺ + 2e ⁻	-0.876
Zn ²⁺ / Zn	Zn ²⁺ + 2e ⁻	-0.762
Cr ³⁺ / Cr	Cr ³⁺ + 3e ⁻	-0.74
Fe ²⁺ / Fe	Fe ²⁺ + 2e ⁻	-0.99
Cd ²⁺ / Cd	Cd ²⁺ + 2e ⁻	-0.402
In ³⁺ / In	In ³⁺ + 3e ⁻	-0.342
Co ²⁺ / Co	Co ²⁺ + 2e ⁻	-0.277
Ni ²⁺ / Ni	Ni ²⁺ + 2e ⁻	-0.250
Su ²⁺ / Su	Su ²⁺ + 2e ⁻	-0.136
Pb ²⁺ / Pb	Pb ²⁺ + 2e ⁻	-0.126
Fe ³⁺ / Fe	Fe ³⁺ + 3e ⁻	-0.036
H ⁺ / H ₂	2H ⁺ + 2e ⁻	0.000
Cu ²⁺ / Cu	Cu ²⁺ + 2e ⁻	0.337
Hg ²⁺ / Hg	Hg ²⁺ + 2e ⁻	0.789
Ag ²⁺ / Ag	Ag ²⁺ + 1e ⁻	0.799
Hg ²⁺ / Hg	Hg ²⁺ + 2e ⁻	0.857
Pd ²⁺ / Pd	Pd ²⁺ + 2e ⁻	0.987
Pt ²⁺ / Pt	Pt ²⁺ + 2e ⁻	1.19
Au ³⁺ / Au	Au ³⁺ + 3e ⁻	1.50



Anexo 5.

CARACTERISTICAS DE LOS ANODOS GALVANICOS

	Anodo Zinc	Anodo Mg	Anodo Al
Eficiencia	95%	50%	95%
Rendimiento Am- Hr/Kg.	778	1102	2817
Contenido de energía Am hr/Kg.	820	2204	2965
Potencial de trabajo (V)	-1.10	-1.45A-1.70	-1.10
Relleno	50% YESO,50%Bentonita	75% Yeso,20% Bentonita,5%SO ₄ Na ₂	



Anexo 6

Características de los ánodos empleados en protección catódica por corriente impresa.

Tipo	Peso Especifico g/cm ³	Consumo	Densidad de corriente Kg/A-año		
Utilización			A/m ³ maxima		practica
medio					
Acero chatarra	7.8 7.0	9 4.5-1	5	1	Todos
Grafito	1.6	0.1-1	10-100	2.5-40	Terreno ,agua de mar excluido fondo de mar y el agua dulce
Ferro-Silicio 0.95%C,16%Si, 0.75% Mn	7	0.25-1	30-40	10-100	Agua dulce, terreno
Fe-Cr-Si 0.95%C,0.75Mn 4.5%Cr,14.5% Si	7	0.25-1	270		Terreno,Agua de mar, fondo marino
Pb-Ag (2%Ag)	11.3	-0.2	300	30-65	Solo agua de mar; excluido el fondo marino y el agua dulce
Pb-Ag- Sb(1%Ag,6%Sb)	11	-0.5	300	50-200	
Titanio platinado	4.5	8.10 ⁻⁶	400 por cada	500-1000	Terreno no salino con
Niobio platinado	8.4			500-700	



Diseño de un sistema de protección catódica contra la corrosión en tanques 80
subterráneos de almacenamiento de combustible.

Tántalo platinado	16.6		micra de platino de espesor	500-1100	backfill, agua de mar;excluid o el fondo marino y el agua dulce
Titanio-oxido de rutenio (DSA)	4.5	5.10^{-7}	1100	700-1100	Todos



ANEXO 7.

Resistividad del terreno según su naturaleza

NATURALEZA DEL TERRENO	Resistividad del terreno
	Ohm X m
Terrenos pantanosos	2 a 30
Limos	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba Húmeda	5 a 100
Arcilla Plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 100
Arena silícea	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1.500 a 3.000
Piedras calizas blancas	100 a 300
Piedras calizas compactas	1.000 a 5.000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y areniscas poco alterados	1.500 a 10.000
Granitos y areniscas muy alterados	100 a 600
Agua de mar	1
Mineral conductor	0,1
Aluviones con agua dulce	20 a 200
Aluviones secos	50 a 100
Aluviones con agua salada	1 a 5

MATERIALES CONSTITUYENTES DE LOS SUELOS	RESISTIVIDAD
	Ohm x m
Sal gema seca	10.000 Giga
Cuarzo	1.000 Mega
Arenisca, cantos de río, piedra triturada	10 Mega
Granito compacto	1 a 10 Mega
Rocas compactas, cemento ordinario, esquistos	1 Mega
Carbón en roca	0,1 a 1 Mega
Rocas madres, basaltos, diabasas, cascajos y granitos antiguos (secos)	10.000
Gujarros de río y cascajos o piedra triturada húmeda	5.000
Terrenos rocosos, piedra caliza seca	3.000
Hormigón	2.000 a 3.000
Granitos antiguos (húmedos)	1.500 - 2.000
Yeso seco	1.000
Arena fina y gujarros (seco)	1.000
Grava y arena gruesa (seca)	100 - 1.000
Arena arcillosa, grava y arena gruesa húmeda	500
Suelos calizos i rocas de aluvión	300 - 400
Tierra arenosa con humedad	200



Fango arenoso	150
Margas, turbas y humus muy secos	100
Margas y humus secos	50
Arcillas secas	30
Margas, arcillas y humus húmedos	10
Arcillas ferrosas y piritosas	10
Esquistos grafiticos (húmedos y secos)	menos de 5
Agua de mar	1
Soluciones salinas	0,1 - 0,001
Minerales conductores	0,01
Grafitos	0,0001

DENSIDADES DE CORRIENTES TIPICAS EN SUELOS DE DIFERENTES CARACTERISTICAS

DENSIDADES DE CORRIENTE TIPICAS mA/m ²	
Tierra seca	10.76-21.52
Tierra con agua	21.52 – 53.82
Agua sin corriente	10.76 – 53.82
Agua de mar, con corriente	32.29 – 129.17
Agua de mar, sin corriente	107.6 - 2691



ANEXO 8.

CARACTERISTICAS DE ANODOS DE MAGNESIO

Propiedades físicas y electroquímicas del Mg, Zn y Al

Propiedades	Mg	Zinc	Al
Peso atomico (g)	24.32	65.38	26.97
Peso especifico a 20°C g/cm ³	1.74	7.14	2.70
Punto de Fusión (°C)	651	419.4	660.1
Resistividad Eléctrica (Ohm-cm.)	4.46x10 ⁻⁶	6.0x10 ⁻⁶	2.62x10 ⁻⁶
Valencia	2	2	3
Equivalente-gramo	12.16	32.69	9.00
Equivalente-electroquímico(mg/C)	0.1261	0.3387	0.0931
Capacidad eléctrica-teórica(A-h/Kg.)	2204	820	29.82
Capacidad eléctrica-teórica(A-h/dm ³)	3836	5855	8051
Capacidad eléctrica-practica(A-h/Kg.)	1322	738	1491
Rendimiento corriente (%)	60	90	50
Consumo teórico (Kg./A-año)	3.98	10.69	2.94
Consumo teorico (dm ³ /A-año)	2.3	1.5	1.1



Potencial normal a 25°C(V vs Ag/AgCl) -2.63 -1.05 -1.93

Potencial disolución en agua de mar (V vs Ag/AgCl) -1.55 -1.05 -1.85

Composiciones de magnesio y sus aleaciones utilizadas como ánodos de sacrificio

Denominación	Al	Cu	Fe	Ni	Mn	Zn
Galvomag	0.10 máx.	0.02	0.03	0.001	0.5-1.3	
Magnesio cell	0.01	0.01	0.027	0.001	0.10	0.01
Dowmetal Fs-1	2.6	0.003	0.005	0.001	0.4	1.1
Dowmetal H	6.0	0.01	0.009	0.001	0.26	2.5
Dowmetal H-1	6.5	0.01	0.001	0.001	0.24	3.4
Dowmetal J-1	6.5	0.005	0.001	0.001	0.23	0.78

Composición comercial típica de los ánodos de magnesio

Descripción	MIL A-21411	Comercial	Comercial
Cu	0.1 máx.	0.02 máx.	0.02 máx.
Al	5-7	5.3-6.7	0.01 máx.
Si	0.3 máx.	0.10 máx.	-----



Fe	0.003 máx.	0.003máx.	0.003 máx.
Mn	0.15 min.	0.15 min.	05-1.3
Ni	0.003 máx.	0.002 máx.	0.001
Zn	2-4	2.5-3.5	-----
Otros	0.3 máx. (c/u)	0.3 máx. (c/u)	Pb,Sn 0.01 máx.
Rendimiento	50%	50%	50%
Potencial (V)	-1.50 vs. Ag/AgCl	-1.50 vs. Ag/AgCl	-1.70 vs. Ag/AgCl
Capacidad (A-h/kg)	1100	1230	1230



ANEXO 9.

INSTALACIÓN DE LOS ÁNODOS DE MAGNESIO ENTERRADOS

Los ánodos se instalan normalmente a 1 m de profundidad, en posición horizontal y a 1-1,5 m de la estructura a proteger. Antes de cubrirlos con la tierra natural extraída, se encharcan para conseguir que se humedezcan pronto y empiecen a actuar nada más enterarlos. Su conexión a las tuberías o tanques puede ser directamente; soldando el cable del ánodo a una teja de acero –que la puede llevar el ánodo soldada si se incluye en el pedido- que se suelda a la tubería, o conectando, en una caja de toma de potencial al cable que está soldado a la tubería o tanque.

5) ESQUEMAS



DESCRIPCION

Los ánodos de magnesio se suelen instalar en un saco de algodón o tela rator con un relleno de mezcla activadora (75% yeso hidratado, 20% bentonita disódica y 5% de sulfato sodico) para mantenerlos activos es decir evitar o retrasar su pasivación .

La mezcla tiene una resistividad baja (200-300 Ohm x cm.) que permite que reduce la resistencia de contacto de el ánodo .Por otro lado la mezcla es también higroscópica con lo que retiene la resistividad del suelo donde esta enterrado el ánodo y ayuda a que el contacto eléctrico es bueno. El ánodo lleva un cable conectado que sobresale del saco, y esta conexión esta protegida con resinas aislantes

3) CARACTERÍSTICAS

Dependiendo de su empleo los hay de dos tipos, los preempaquetados (cuando se entierran) y los desnudos (para cuando van en agua).

Existen dos aleaciones una llamada AZ-53 y la otra HP. La primera tiene un potencial, en circuito libre, de -1,55 V y la segunda de -1,75 V respecto al electrodo de referencia de Cu/CuSo₄.

Las aleaciones son las siguientes:



ALEACIONES		
Composición Química	AZ 63	HP
	1.55 V	1.75 V
Aluminio (Al)	5.3 – 6.7 %	0.01 % máx.
Zinc (Zn)	2.5 – 3.5 %	----
Cobre (Cu)	0.08 % máx.	0.02% máx.
Silicio (Si)	0.3% máx.	-----
Manganeso (Mn)	0.25% min	0.5 – 1.3%
Hierro (Fe)	0.005%máx.	0.03 % máx.
Niquel (Ni)	0.003% máx.	0.001% máx
Plomo (Pb)	0.03% máx	-----
Otras impurezas c/u	0.05%	-----
Magnesio(Mg)	Resto	Resto
Capacidad(Amp hr/Kg.)	1230	1230

SALIDA DE CORRIENTE DE ÁNODOS

PESO NETO DEL ÁNODO						
Resistividad del electrolito	4.1/3.3 Kg.		7.7 Kg.		14.5 Kg.	
	1.55V	1.75V	1.55 V	1.75 V	1.55 V	1.75V
500	130	170	150	200	180	230
1000	65	85	75	100	90	120
5000	15	20	15	20	20	25
10000	5	10	8	10	10	12



ANEXO 10



ANEXO 11.

ELECTRODOS DE REFERENCIA

SERIE U: ELECTRODOS DE REFERENCIA PARA ESTRUCTURAS ENTERRADAS

Está disponible en gel de plata-cloruro de plata saturado (GelledAg/AgCl) y gel de cobre-sulfato de cobre saturado (gelled Cu/CuSO₄).

Aplicaciones Típicas: Tanques y tuberías enterradas.

