



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

## FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)

Distr. RESERVADA

08442

DP/ID/SER.B/161  
24 agosto 1978  
Español

PROBLEMAS DE PROTECCION CATODICA

SI/PER/77/801

PERU

Informe final

Preparado para el Gobierno del Peru por la  
Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial  
en calidad de organismo de ejecución del  
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Basado en los trabajos de Romuald Juchniewicz, experto en protección catódica

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial  
Viena

---

\*El presente documento no ha pasado por los servicios de edición de la  
secretaría de la ONUDI.

id. 78-5327

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Secretaría de las Naciones Unidas, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

La mención de empresas en el presente documento no entraña juicio alguno sobre ellas ni sobre sus productos por parte de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI).

## RESUMEN

Este informe cubre las actividades del experto en el Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC) Lima-Perú, dichas actividades se cumplieron entre el 04 de octubre de 1977 y el 03 de agosto de 1978, con el objeto de mejorar la situación existente en lo que se refiere a la protección catódica para combatir la corrosión en el Perú.

Las investigaciones, estudios, pruebas, conferencias y recomendaciones se llevaron a cabo en 16 empresas industriales, universidades y otros centros.

Durante las visitas efectuadas al Oleoducto Nor-Peruano de PETROPERU, Servicio Industrial de la Marina (SIMA), Empresa de Saneamiento de Lima, (ESAL), Fertilizantes Sintéticos S. A. (FERTISA), Cfa. Peruana de Teléfonos S. A., Empresa Nacional de Puertos (ENAPU PERU), SIDER PERU y otras plantas, se realizaron inspecciones detalladas sobre corrosión y protección catódica, asimismo se atendieron las consultas efectuadas por profesionales de estas empresas.

Los informes individuales para cada empresa, así como las recomendaciones hechas por el experto fueron enviados a las respectivas empresas visitadas.

Las actividades del experto demostraron que en el Perú existen problemas de corrosión y grandes pérdidas económicas (directas e indirectas).

No existe una organización especializada en combatir la corrosión, tampoco se hace investigación ni se dá enseñanza en el campo de la corrosión.

Para mejorar la situación existente se propone incluir un proyecto "Desarrollo de la Tecnología de Protección Catódica para Combatir la Corrosión", preparado en el ITINTEC con ayuda del Experto, en el Country Program de ONUDI en el Perú y crear dentro de este proyecto un centro de corrosión y protección para la enseñanza, consultoría y asistencia técnica a la industria, y para la investigación.

INDICE

<u>Capítulo</u>		<u>Página</u>
I	INTRODUCCION .....	6
II	PROBLEMAS ENCONTRADOS .....	7
III	RECOMENDACIONES .....	17

Apéndices

1	Conferencia "Aplicación de la Protección Catódica en la Industria" .....	21
2	Informe de la visita de evaluación técnica al Oleoducto Nor-Peruano .....	52
3	Informe de las inspecciones efectuadas en la Av. Primavera a fin de determinar la existencia de corrientes vagabundas..	75
4	Informe de las inspecciones técnicas realizadas a tuberías de concreto pretensado instaladas en el distrito de San Juan de Miraflores .....	81
5	Plan de trabajo para ESAL en tuberías de distribución de agua .....	96
6	Informe sobre los principios de corrosión y protección de los tubos de acero inoxidable 316L del condensador de la tubería de vapor de la Central Eléctrica de Fentisa .....	99
7	Conferencia en el Colegio de Ingenieros del Perú sobre "La Protección Catódica como medio de Combate a la Corrosión".	103
8	Recomendaciones sugeridas para la solución de problemas presentados en la Empresa Pulvimetal S.A. ....	123
9	Recomendaciones sugeridas para la solución de problemas presentados en los conductores desnudos de líneas aéreas para transmisión eléctrica (CEPER). ....	130
10	Programa de Estudios para la especialización a nivel postgrado y las prácticas de laboratorio correspondientes ..	131
11	Plan de trabajo del Comité de Protección Catódica .....	136

## I. INTRODUCCION

Este informe preliminar cubre las actividades del experto en el Perú entre el 04 de octubre de 1977 y el 03 de agosto de 1978 y ha sido escrito con el objeto de ayudar a mejorar la situación existente en lo referente a la protección catódica.

Cabe anotar que actualmente el Perú ocupa el cuarto lugar como productor de acero en América del Sur. La demanda interna será en 1978: 1 106 000 toneladas y en 1990: 2 440 000 toneladas.

La producción en 1977 fue de 520 000 toneladas. El Perú importa un equivalente a 230 mil dólares diarios de acero extranjero.

Se sabe por informaciones publicadas en los Estados Unidos de Norteamérica, que los costos anuales de las inundaciones, incendios, huracanes y terremotos en conjunto son menores que los costos anuales de la corrosión.

El control de la corrosión es básicamente un problema de economía, el trabajo de los ingenieros de corrosión no solo es, elegir el material de construcción o recubrimiento más resistente a la corrosión, su trabajo es diseñar, construir, operar y mantener las plantas y estructuras, a fin de minimizar sus costos. Básicamente la corrosión eleva los costos en las industrias de 4 formas:

- 1) Incrementa los costos de capital.
- 2) Incrementa los costos de operación.
- 3) Incrementa los costos de mantenimiento.
- 4) Incrementa los gastos generales.

De la experiencia de otros países se sabe que el 30% de las reparaciones de equipos y maquinarias; que el 95% de las fallas en intercambiadores de calor; y que el 50% de los problemas en la industria química y petrolera son consecuencia directa de la corrosión.

Debido a que en el ITINTEC no se había estudiado los sistemas de protección catódica, en el mes de diciembre se formó un grupo de estudio, conformado por 4 personas (el experto ONUDI y 3 ingenieros).

Se preparó una lista de los equipos, instrumentos, libros, revistas, normas y otros materiales para el estudio de la protección catódica.

Durante este período, se obtuvo información sobre los problemas de corrosión y protección catódica existentes en el Perú.

Se llevaron a cabo investigaciones, estudios, pruebas, conferencias y recomendaciones con 16 empresas industriales así como con Universidades y otros centros.

A partir de la información obtenida se concluye que actualmente en el Perú existen serios problemas de corrosión y grandes pérdidas económicas (directas e indirectas). No existe una organización especializada en combatir la corrosión, tampoco se hace investigación ni se da enseñanza en el campo de la corrosión y su prevención. Las grandes empresas (PETROPERU, ENAPU-PERU, ESAL, SIMA, FERTISA, SIDERPERU, ELECTRO-PERU), que tienen grandes problemas de corrosión no cooperan entre sí en lo referente al estudio de la protección catódica. Los sistemas de protección catódica que existen en algunas de estas empresas, fueron diseñados e instalados por firmas extranjeras.

Para presentar las ideas y bases de la protección catódica, el experto dictó 8 conferencias sobre esta tecnología. Se preparó también dos folletos que sintetizan los principios y aplicaciones de la protección catódica en la industria. Se repartió 200 ejemplares de estos folletos a los asistentes de dichas conferencias.

A fin de contrarrestar el indeseable incremento de la corrosión en el Perú y disminuir las pérdidas económicas, se debería efectuar un plan más dinámico contra la corrosión en el Perú. Este plan incluiría las 3 principales áreas de actividad en la corrosión, es decir, enseñanza, consultoría y asis

tencia técnica a la industria, e investigación en este campo.

A fin de solucionar estos problemas se preparó el proyecto "Desarrollo de la Tecnología de Protección Catódica para Combatir la Corrosión con una duración de 5 años formulado por la Dirección de Tecnología del Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC), con ayuda del experto.

## II. PROBLEMAS ENCONTRADOS

Para identificar los problemas de la protección catódica en la industria y para cumplir las obligaciones en el plan de trabajo se llevaron a cabo las siguientes acciones:

### II. 1 Ministerio de Industria, Comercio, Turismo e Integración.-

Se preparó un folleto sobre la aplicación de la protección catódica en la industria. Se presentó este folleto el 1ro. de diciembre de 1977 durante la conferencia "Aplicación de la Protección Catódica en la Industria" (Ver apéndice 3).

A esta conferencia asistieron 90 personas, representantes de las empresas industriales, ingenieros y técnicos.

## II.2 Petróleos del Perú PETROPERU

El Oleoducto Nor Peruano posee un sistema de protección catódica temporal, empleando el método de ánodos de sacrificio con protectores de magnesio en forma de cintas y bloques.

Se efectuó una inspección técnica en los 850 kms. del Oleoducto Nor Peruano y los oleoductos secundarios.

Trompeteros - Estación 1 y

Yanayacu - Estación 1

A partir de los resultados obtenidos se presentó un informe (ver apéndice 2).

Asimismo, en PETROPERU existen muchos problemas de corrosión debido a la agresividad del agua de mar, de los suelos y diferentes productos químicos que se producen en la planta de fertilizantes en Talara. También se detectó una variedad de problemas de corrosión en las refinerías de Talara y la Pampilla.

Se realizó una conferencia para 80 ingenieros de PETROPERU, en donde se presentaron modernos métodos de investigación en corrosión y su prevención en la industria petrolera.

Actualmente se prepara un plan de cooperación con PETROPERU, en el cual incluye más mediciones en el Oleoducto Nor-Peruano, inspección técnica para la aplicación de un sistema de protección catódica permanente para el Oleoducto Nor Peruano, y capacitación de los ingenieros y técnicos de PETROPERU.

### II. 3 Empresa de Saneamiento de Lima (ESAL)

En Lima existen graves problemas de corrosión en las tuberías de concreto pretensado, que se emplean para transportar agua potable.

Se efectuaron muchas inspecciones técnicas para establecer las causas de las roturas sufridas en varias tuberías de concreto pretensado instaladas en Lima. A partir de los resultados obtenidos se presentó dos informes:

II.3.1 Informe de las inspecciones efectuadas en la Av. Primavera a fin de determinar la existencia de corrientes vagabundas. (Apéndice 3).

II.3.2 Informe de las inspecciones técnicas realizadas a tuberías de concreto pretensado instaladas en el distrito de San Juan de Miraflores (Apéndice 4).

ESAL actualmente tiene una amplia cooperación con ITINTEC para combatir la corrosión de tuberías de gran diámetro de concreto pretensado, instalados en terrenos agresivos derivado de la presencia de sulfatos (ver Apéndice 5).

#### II. 4 Fertilizantes Sintéticos - FERTISA

Los tubos de acero inoxidable 316L del condensador de la turbina de vapor de la Central Eléctrica de Fertisa han sufrido por tercera vez corrosión interna, en su contacto con el agua de mar contaminada con agua de desagues y aceite de pescado que se encuentran alrededor de la planta.

Se preparó un informe sobre los principios de corrosión y protección. (ver Apéndice 6).

Actualmente Fertisa sigue las recomendaciones dadas por el experto, la situación ha mejorado. Se hace con el ITINTEC investigaciones en relación con este problema.

#### II. 5 Empresa Nacional de Puertos (ENAPU-PERU)

Se tuvo entrevistas con los Ingenieros de ENAPU-PERU para mejorar el sistema de protección catódica del

muelle de Pisco. Se propone una visita a Pisco para efectuar mediciones con nuevos ánodos, siguiendo las recomendaciones dadas por el experto.

#### II. 6 Servicio Industrial de la Marina (SIMA-PERU)

Existe una amplia cooperación en el campo de la protección catódica, en la industria naval. Se efectuó mediciones en barcos, planchas de acero en los muelles y tuberías subterráneas, que poseen sistemas de protección catódica con ánodos de zinc.

Se discutió los problemas teóricos y prácticos en el diseño de sistemas de protección catódica con ánodos de zinc, con los ingenieros del SIMA. Se prepara una conferencia sobre protección catódica en la industria marina.

#### II. 7 Colegio de Ingenieros del Perú

Conferencia sobre "La Protección Catódica como medio de combatir la Corrosión", dicha conferencia fue dictada el día 22 de junio en el local del Colegio de Ingenieros. Se preparó un folleto (ver Apéndice 7), a esta conferencia asistieron 95 personas representantes de las industrias.

**II. 8 Rayón y Colanese Peruana S. A.**

Esta empresa, tiene un grave problema de corrosión en sus rodillos rizadores, los cuales son de acero especial.

El ITINTEC prepara actualmente un sistema de protección catódica para este tipo de maquinaria.

**II. 9 Pulvimetal S. A.**

Esta empresa, tiene problemas de corrosión en sus enfriadores del proceso de sintetizado. Se prepara un sistema combinado de protección catódica e inhibidores para combatir la corrosión.

Las recomendaciones se encuentran en el apéndice 8.

**II.10 SIDER PERU**

Se tiene preparada una conferencia para ingenieros y técnicos de SIDERPERU en Chimbote, así como una visita de inspección técnica en las instalaciones de SIDERPERU en Chimbote.

De acuerdo a las informaciones obtenidas, existe en SIDERPERU una variedad de problemas de corrosión, los cuales pueden requerir de sistemas de protección catódica.

### **II.11 Industrias Conserveras**

Se han visitado diferentes industrias conserveras para establecer una cooperación con ITINTEC y la implementación de métodos modernos para la protección contra la corrosión de latas de conservas.

Este problema tiene gran importancia para la industria conservera. En ITINTEC se planea hacer investigaciones en este campo.

### **II.12 CEPER-ELECTROLINA**

Estas empresas tienen problemas de corrosión en líneas de transmisión (cables de aluminio) en la costa peruana. Actualmente se están realizando las coordinaciones a fin de investigar este problema. Plan de trabajo se encuentra en el apéndice 9.

### **II.13 Sociedad Paramonga Ltda.**

Esta empresa tiene problemas de corrosión en sus equipos, tuberías, mallas, tanques, los que se pueden resolver con la aplicación de protección catódica.

Actualmente se están realizando las coordinaciones a fin de investigar este problema.

**II.14 Compañía Peruana de Teléfonos S. A.**

Los cables telefónicos subterráneos son atacados por la corrosión y esto ocasiona pérdidas económicas a la empresa.

El experto dió una conferencia sobre protección catódica de cables telefónicos para 32 ingenieros interesados en este problema.

**II.15 Universidad Nacional de Ingeniería**

Esta Universidad ha mostrado mucho interés en la enseñanza y creación de una especialización en el campo de la corrosión y protección catódica.

El experto dió una conferencia sobre métodos modernos de protección contra la corrosión para personal docente y alumnos de la Universidad Nacional de Ingeniería. El programa de estudios para la especialización, a nivel de postgrado en ingeniería de la corrosión y la protección de metales y prácticas de laboratorio de este curso se encuentran en el apéndice 10.

**II.16 Universidad Nacional Agraria**

Esta Universidad solicitó a ITIINTEC el dictado de una conferencia sobre problemas de corrosión en las indus

trias agrarias.

El experto dió una conferencia al personal docente y alumnos de esta Universidad. Asistieron 25 personas.

### III. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones del experto en orden de prioridad son las siguientes:

III. 1 Preparar un programa de acción para combatir la corrosión a escala nacional.

Las siguientes acciones se deberían llevar a cabo para un mayor desarrollo.

III.1.1 Comenzar las acciones en ITINTEC desarrollando el proyecto "Desarrollo de la Tecnología de Protección Catódica para Combatir la Corrosión", presentado al Country Program del PHID y crear un

centro y laboratorio para investigaciones y enseñanza de postgrado.

- III.1.2** A fin de contrarrestar el indeseable aumento de la corrosión se deben desarrollar métodos más dinámicos para difundir el conocimiento acerca de los peligros de la corrosión, tener mayor información sobre la corrosión y su prevención, divulgar el conocimiento general y actualizado sobre tecnologías de anticorrosión.
- III.1.3** Capacitación de Ingenieros y Técnicos.  
No se puede esperar que la mayoría de ingenieros y técnicos posean un conocimiento básico en el campo de la corrosión y protección catódica, por lo que se propone la creación de un sistema educativo sobre las técnicas de anti-corrosión en las Universidades.
- III.1.4** Es necesario empezar un programa de investigación y desarrollo en el Perú, tendiente al análisis de los procesos de corrosión y discusión de los mecanismos de corrosión y desarrollo de métodos modernos de protección contra la corrosión.

- III.1.5 Crear un comité de control de la corrosión en el Perú para trabajar en estrecha colaboración con otros programas de prevención de la corrosión y cooperar en todos los aspectos de este campo. Ver Apéndice 11.
- III.1.6 Crear un puesto de ingeniero de corrosión y técnicos de corrosión en aquellas empresas con más de 500 empleados y comenzar con una especialización a nivel de postgrado.
- III.1.7 Preparar los libros y otros materiales didácticos para la enseñanza en el campo de la corrosión y protección en la industria.
- III.1.8 Partiendo de investigaciones propias con materias primas del país, empezar la producción de todos los materiales necesarios para la protección catódica (ánodos, electrodos de referencia, cajas de control, estaciones, inhibidores, recubrimientos, pinturas, aislamientos, etc.)

**III.1.9 Establecer un programa de cooperación técnica con los países del Pacto Andino con el fin de solucionar los problemas de corrosión existentes en estos países.**

Apéndice 1

CONFERENCIA SOBRE LA APLICACION DE LA PROTECCION  
CATODICA EN LA INDUSTRIA

4.0 INTRODUCCION

La creciente industrialización en el Perú en los últimos años trae como consecuencia muchos problemas de corrosión. Según datos obtenidos en publicaciones extranjeras en los países altamente industrializados se gasta de \$50 - 100 USA por habitante por año en corrosión y su prevención. En Estados Unidos se consume en corrosión anualmente sobre los 15 000 millones de dólares USA, en Inglaterra el consumo es 2 320 millones de dólares USA por año.

Las consecuencias de la corrosión pueden ser catastróficas, - en los barcos, puentes, aviones, minas, etc. Las pérdidas económicas son de dos formas:

- 1) Directa
- 2) Indirecta

Las pérdidas directas son cambios de estructuras y equipos corroidos.

Las pérdidas indirectas son muy difíciles de conocer pudiendo ser las siguientes:

- a) Suspensiones temporales de producción (por ejemplo una gran empresa pierde aproximadamente 100 000 dólares por hora).
- b) Pérdidas del producto.
- c) Pérdidas en la eficiencia
- d) Contaminación del Producto
- e) Sobre dimensionamiento

La Protección Catódica es una moderna tecnología para combatir la corrosión, ésta es muy importante para el desarrollo industrial de un país, pienso que es una buena idea de ITINTEC presentar una Conferencia sobre Protección Catódica, la cual es importante aplicarla en gran escala en el Perú.

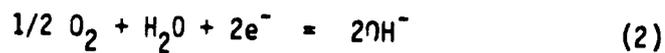
## 2.0 CORROSION Y PROTECCION CATODICA

Cuando estudiamos el proceso de corrosión en una celda galvánica (ver figuras 1, 2 y 3) nosotros observamos que el agua con oxígeno ataca el hierro según las reacciones siguientes:

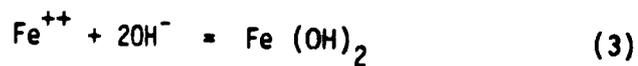
Reacción Anódica:



Reacción Catódica:



Estos productos de las dos reacciones forman el hidróxido ferroso  $\text{Fe}(\text{OH})_2$



El oxígeno es difundido a través del metal. La velocidad de difusión es proporcional a la cantidad de oxígeno y a la corrosión del hierro, también es proporcional a la concentración del oxígeno.

Debemos recordar que también en la celda de corrosión se forman:

ANODO

CATODO

Velocidad total de oxidación	=	Velocidad total de reducción
Cambio pH de 7 a 3		Cambio de pH 7 - 13
Corrosión		No corrosión

Cuando se efectúa el proceso de corrosión existe la dependencia entre el proceso del ánodo y el proceso del cátodo. Las influencias en el proceso del cátodo influye también en el proceso del ánodo y viceversa. Cuando la cantidad de corriente en la celda de corrosión es grande lo es también la corrosión. Cuando la diferencia de potencial es muy grande entre el ánodo

y el cátodo, el ánodo será corroído rápidamente, observamos también que el cátodo no se corroe.

## 2.1 ¿Cómo trabaja el sistema de protección catódica?

El acero empleado en estructuras, equipos u otros sin protección catódica posee un potencial de -500 a -600 mv. vrs. electrodo de referencia Cu/sat  $\text{CuSO}_4$ . Una vez aplicada corriente externa se crea una celda galvánica donde el acero se polariza con una potencia sobre -950 mv. con el mismo electrodo de referencia. Cuando se tiene este potencial la corrosión se reduce a cero y cuando el proceso es contínuo en el acero es protegido todo el tiempo.

Se conocen dos tipos de protección catódica:

- 1) Anodo de sacrificio
- 2) Corriente impresa

En las figuras 4 y 5 se observa los dos sistemas.

En la aplicación del ánodo de sacrificio siempre se utiliza aleaciones de Mg, Al, Zinc electroquímicamente más negativo que el metal a protegerse en el ambiente.

Para la aplicación de corriente impresa es necesario tener una fuente de corriente contínua y un ánodo localizado a una distancia de la estructura a protegerse.

Cuando la velocidad de corrosión es controlada catódicamente (ver figura 6) y el potencial de corrosión llega al circuito abierto del ánodo, la corriente necesaria para protección catódica es siempre igual a la corriente de corrosión.

Cuando la corriente de protección hace una precipitación inorgánica en la superficie del cátodo después de un cor

to tiempo la corriente decrece cuando la deposición aumenta. Conocido el requerimiento de la densidad de corriente para la protección este puede ser determinado con la medida del potencial.

Para conocer la cantidad de corriente para la protección catódica siempre se aplica la técnica de polarización. Mostramos en la Tabla N° 1 algunos resultados.

En la Tabla N° 2 se presenta los potenciales de protección catódica para diferentes metales.

Para el control de la corrosión y protección catódica en la industria o en el área urbana siempre se aplica cajas de control, las cuales mostramos en la figura 7.

Yo pienso que es necesario que el Perú tenga este tipo de cajas en todas las estructuras importantes que trabajan en el mar o subterráneas. Las distancias de separación de las cajas de control varían entre 50 - 1 000 m. Ustedes necesitan conocer qué problemas de corrosión tienen en sus estructuras. Es obligatorio no esperar la destrucción por la corrosión sino controlarla y combatirla.

Cuando la diferencia de potencial de dos tuberías que se cruzan es más de 50 mv. se necesita aplicar siempre una protección especial. Cuando la diferencia de potencial no es estática y cambia tenemos un fenómeno de corriente vagabunda. Recuerdo que cuando se aplica protección catódica para una tubería es posible que se creen interferencias para otras estructuras no protegidas.

### 3.0 SISTEMA DE ANODOS DE SACRIFICIO

En la Tabla N° 3 se muestra algunos datos importantes para ánodos de sacrificio.

Las aleaciones que se usan para ánodos de sacrificio siempre tienen como base magnesio, zinc o aluminio.

El trabajo de estos ánodos dependen de las composiciones y - condiciones de operación, tales como temperatura, conductividad, densidad de corriente, etc.

### 3.1 Aleaciones de Magnesio

Siempre las aleaciones de magnesio tienen 6% Al, 3% Zinc y más de 0.15% de Mn para combatir los malos efectos de las impurezas.

El ánodo de magnesio tiene un potencial muy negativo (-1.55v) y destruye las pinturas de las estructuras metálicas, por ello es necesario aplicarla bajo ciertas condiciones. Asimismo existe la posibilidad de que el rompimiento de los ánodos debido al impacto con las estructuras metálicas que trabaja con combustibles produzcan explosiones.

### 3.2 Aluminio

Los ánodos de aluminio siempre tienen de 3 - 7% de Zinc. Su eficiencia depende de la pureza del aluminio que se aplica. Es conocido que las impurezas son muy perjudiciales al hierro.

Las aleaciones con zinc y estaño también se aplican. Una típica composición es de 5% zinc y 0.08% Sn y Aluminio de una pureza de 99.8%.

Asimismo el aluminio tiene tendencia para producir hidrógeno por ello es necesario recordar que pueden ocasionar explosiones.

### 3.3 Zinc

Los ánodos obtenidos por fundición de alta pureza de zinc tienen siempre no más de 0.0015% de Fe para mejor eficiencia.

Existen también aleaciones con 0.5% Al, con 0.1% como máximo de silicio o cadmio. Los ánodos de zinc son siempre aplicados para agua de mar debido a que tiene potencial un poco más negativo que el fierro y no ocasiona problemas con pinturas ni explosiones.

Para el cálculo de resistencias a los ánodos cilíndricos en electrolito (mar, suelo, etc.) se aplica la siguiente fórmula:

$$R = \rho \frac{0.0627}{L} \left( \ln \frac{4L}{r} - 1 \right) \quad (4)$$

donde:

- R = Resistencia del ánodo en el electrolito (ohms)
- $\rho$  = Resistividad específica de electrolito (ohm-cm)
- L = Longitud del ánodo (pulg.)
- r = Radio de ánodo (pulg.)

Para determinar la cantidad de corriente que pasa por el ánodo se aplica la ley de Ohm

$$I = \frac{E}{R} \quad (5)$$

donde E:

- Para los ánodos de magnesio = 0.85 - 1.20 v
- Para los ánodos de aluminio = 0.35 - 0.65 v
- Para los ánodos de zinc = 0.35 - 0.55 v

Para determinar la velocidad de consumo del ánodo en el agua de mar se aplican las siguientes fórmulas:

Para ánodos de zinc:

$$T_{\text{años}} = 0.08 \frac{\text{Peso (Kg.)}}{\text{intensidad de corriente (amp.)}} \quad (6)$$

Para ánodos de aluminio:

$$T_{\text{años}} = 0.28 \frac{\text{Peso (Kg.)}}{\text{intensidad de corriente (amp.)}} \quad (7)$$

Para ánodos de magnesio:

$$T_{\text{años}} = 0.12 \frac{\text{Peso (Kg.)}}{\text{intensidad de corriente (amp.)}} \quad (8)$$

Para determinar la distribución de potencial para tuberías se aplica la siguiente fórmula:

$$L = \frac{\alpha}{2} \ln \frac{\Delta E \text{ max.}}{\Delta E \text{ min.}} \quad (9)$$

donde:

- L = Longitud de protegerse
- $\alpha$  = Coeficiente de distribución
- $\Delta E \text{ max}$  = Diferencias de potencial para tuberías no protegidas y protegidas en el punto de drenaje
- $\Delta E \text{ min}$  = Diferencia de potencial para tuberías no protegidas y protegidas en el punto donde el potencial es mínimo.

En la figura 8 mostramos la distribución de potencial para tuberías protegidas con ánodos de zinc en el mar, ánodo de magnesio en el suelo y corriente impresa en el suelo. Tal como observa la corriente impresa las zonas protegidas son más grandes que usando protectores.

En la figura 9 mostramos que las zonas protegidas dependen del aislamiento. Las tuberías subterráneas con buen aislamiento tienen zonas protegidas más grandes que las mal aisladas.

#### 4.0 CORRIENTE IMPRESA

En este sistema nosotros empleamos corriente continua obtenida de otra fuente de corriente continua.

La corriente que pasa la estructura la polariza para obtener un potencial de protección para el acero  $-0.85$  v. con  $\text{Cu/sat CuSO}_4$  como electrodo de referencia.

#### 4.1 Materiales de Anodo

Una muy importante característica del ánodo corresponde a la velocidad de consumo de corriente. En la Tabla 4 presentamos algunos datos para ánodos de corriente impresa. Se puede observar que en los modernos ánodos cuya aleación es de plomo-plata o titanio platinado operan con una gran densidad de corriente. La duración del ánodo de titanio-platinado depende de la magnitud y frecuencia de las oscilaciones en la corriente continua obtenida del rectificador de corriente alterna. Oscilaciones bajo 100 Hertz no son permitidas pues atacan el ánodo de titanio-platinado.

La localización del ánodo en la estructura necesita un cuidado especial, esto es porque una localización muy cerca de la estructura da una sobrepotección con destrucción del recubrimiento e insuficiente distribución de la corriente.

En la figura 10 se presenta una protección catódica de tuberías subterráneas.

Teniendo una tubería una diferencia potencial de -0.95 voltios (electrodo de referencia Cu/sat  $\text{CuSO}_4$ ) tenemos la posibilidad de controlar el proceso de corrosión.

#### 4.2 Aplicación de Corriente Impresa en la Industria

Se conoce de la práctica que para esta protección se necesita una magnitud de densidad de corriente de 0.005 mili  $\text{A}/\text{m}^2$  hasta 50 mili  $\text{A}/\text{m}^2$  (ver Tabla N° 1). La corriente se produce en una estación de protección catódica como la que se presenta en la figura 11. El ánodo de plomo con 2% de plata se presenta en la figura 12.

La distribución del potencial para grandes líneas de tubería se calcula con la fórmula:

$$\Delta E_{\text{max.}} = \Delta E_{\text{min}} \cos h. (\alpha \times L) \quad (10)$$

$\Delta E_{\text{max}}$  = Diferencia de potencial entre tubería protegida y no protegida en el punto de drenaje

$\Delta E_{\text{min}}$  = Diferencia de potencial entre tubería protegida y no protegida en el punto de mínimo potencial

L = Longitud de protegerse

$\alpha$  = Coeficiente de distribución

En la Protección Catódica de muelles (ver el diagrama 13) se necesita aplicar densidades de corriente de 100 - 200 mili  $\text{A}/\text{m}^2$ . El sistema presentado en la figura 13 trabaja satisfactoriamente en Kuwait, donde los ánodos de titanio platinado están trabajando con una capacidad de hasta 25 amp. y voltajes no mayores de 11 voltios.

Para plantas de desalinización se están empleando bombas sumergidas con sistema de protección catódica (ver figura 14).

Una bomba de acero inoxidable con tubería de acero normal, con sistema de protección catódica se presenta en la figura 14.

La protección catódica para barcos se presentan en la figura 15.

#### 4.3 Protección catódica para instalaciones domésticas de agua caliente

Con agua caliente la corrosión del acero es altamente incrementada, teniéndose un color rojizo en el agua. Cuando se aplica protección catódica es posible evitar la corrosión y aumentar la vida de un acero galvanizado por muchos años y también eliminar el color rojo del agua. El grado de protección es mejor cuando el agua tiene buena conductividad eléctrica. Se aplica protección catódica con rectificadores de 200 mili A y 6 voltios (ver figura 16) y ánodos titanio-platinado.

No es necesario controlar el potencial dentro del tanque sino aplicar una lámpara para estar seguros del paso de corriente. El sistema trabaja bien durante muchos años.

Para controlar el potencial dentro de las tuberías se usa electrodos presentados en la figura 17.

#### 5.0 PROTECCION CATODICA, INTERFERENCIA Y CORRIENTE VAGABUNDA EN EL AREA INDUSTRIAL

He seleccionado el tema de corrosión debido a que se presenta en toda área industrial.

Sobre "Interferencia de Protección Catódica", "Corrientes Vagabundas de Corrosión" podemos dar la siguiente definición: Se entiende como la corriente directa a la que pasa por otro conductor diferente del circuito y esta corriente es la causante de la corrosión.

La magnitud de la corrosión causada por el paso de corriente vagabunda depende de:

- a) Cantidad de corriente de interferencia
- b) Area de la estructura por los que pasa la corriente, y
- c) Periodo de tiempo durante el cual ocurre el efecto

En la figura 18 se muestran 2 tuberías cruzadas. Una tiene - protección catódica. Cuando medimos la diferencia de potencial en la tubería no protegida obtenemos un diagrama que presenta mos también en la figura 18. Es posible observar que en el - punto de cruce el potencial es más positivo y cambia de -0,55v hasta -0,3v. En el punto de cruce se observa picadura por co rrosión.

Por práctica se conoce que la corrosión en algunas tuberías es tal que dentro de unos años se debe cambiar por una nueva.

Un diagrama típico de corriente vagabunda tiene 2 zonas - una zona catódica y otra zona anódica y cuando estas zonas son cons tantes esta corriente es estática pero en la práctica todas son dinámicas y cambia de amplitud y dirección con el tiempo.

En la figura 19 presentamos fuentes de corriente vagabunda. Es tas son: ferrocarril eléctrico, equipo de soldar, instalaciones puestas a tierra, protecciones catódicas externas, sistemas elec trogalvánicos u otros.

Presentamos también corrosión de diferentes materiales cuando un amperio pasa durante un año:

Fierro	9.1 kg.
Cobre	10.4 kg.
Plomo	33.8 kg.
Zinc	10.7 kg.
Aluminio	3.0 kg.

### 5.1 Criterio para Corriente Vagabunda e Interferencia

En la práctica, nosotros aplicamos un criterio potencial para controlar la interferencia y la corriente vagabunda. Debo señalar que mucho de la investigación está en proceso de encontrar la mejor solución para controlar muy bien la corriente vagabunda y la interferencia de la protección catódica. En algunos países existe el uso del criterio - potencial arriba de 20 mv de interferencia y en otras de bajo de 100 mv.

Pero Uds. deben saber que el efecto del potencial es dependiente de las condiciones de la superficie. En algunas estructuras subterráneas muy aisladas 100 mili  $A/m^2$  a través de una estructura cambia el potencial arriba de 1 voltio, pero en algunas otras estructuras no aisladas o muy mal aisladas 100 mili  $A/m^2$  cambia el potencial solamente unos pocos mv. Sin embargo, aplicando criterio potencial por interferencia, es necesario determinar una condición de aislamiento, teniendo cuidado de ejercitarse en la selección de la localización, número y tipo de instrumentos.

### 5.2 Manera de Combatir la Interferencia y la Corrosión producida por Corrientes Vagabundas

En la práctica nosotros estamos aplicando 3 métodos para disminuir la interferencia de corrientes, y cuatro métodos para combatir otras corrientes vagabundas.

Disminuyendo y eliminando la interferencia de corrientes puede ser realizado mediante:

- 1° Incrementando la distancia entre el ánodo de protección catódica y la estructura metálica vecina afectada por la interferencia.

- 2° Aplicando algunos métodos de protección para la estructura afectada, por ejemplo con buen aislamiento y "punto caliente" en la protección catódica.
- 3° Conectando la estructura afectada a la instalación de protección catódica (protección catódica común).

En la figura 20 se muestra el sistema aplicando protección catódica sacrificando un ánodo conectado con diodos, los cuales hacen una protección catódica para tuberías no protegidas.

Para combatir grandes corrientes vagabundas generalmente aplicamos:

- 1° Un método preventivo para la disminución de corrientes vagabundas las cuales vienen de un mismo origen (buen aislamiento, baja resistividad de las conexiones, etc.).
- 2° Acoplamientos aislados. Se aplica a fin de disminuir la influencia de corriente vagabunda.
- 3° Por disminución de la cantidad de corriente que entra a la estructura por el buen aislamiento o por ligadura, la corrosión de corrientes vagabundas puede ser evitada.
- 4° En algunos casos estamos aplicando un sistema eléctrico de desagüe polarizado o forzado, los cuales son capaces de combatir las corrientes vagabundas.

Debo señalar que los fenómenos de interferencia y corrientes vagabundas, son muy complicadas y pueden ser solucionadas sólo por un ingeniero con experiencia en corrosión.

## 6.0 ECONOMIA DE LA PROTECCION CATODICA

Para las estructuras marinas y tuberías enterradas, el costo de la protección catódica es casi igual a otras que ofrecen seguridad de protección.

Los puentes del Canal de Panamá están protegidos usando corriente impresa. El costo inicial de las instalaciones es menos que 0.5% del costo de reemplazar los puentes. Una ventaja importante es que los puentes pueden continuar operando sin la necesidad de periódicas y largas paralizaciones para las reparaciones por corrosión.

Para las tuberías el costo de la instalación de protección catódica o líneas bajo 35 Km. de longitud es significativamente más grande que el de líneas sobre 35 Km. de longitud.

Para estimaciones de presupuesto del costo de la instalación de protección catódica de un mínimo de \$0,03 USA por mt. y un máximo de \$0,10 USA por metro lineal pudiendo ser vaticinado con razonable dependibilidad (dato 1970).

Debo señalar que el costo de abastecer y aplicar la protección puede ser determinada de acuerdo a la construcción de tuberías. El costo de instalación y mantenimiento de la protección catódica puede ser calculada después que la tubería está en servicio.

## 7.0 CONCLUSION

Puedo decirles que las nuevas y más importantes tecnologías sobre protección catódica están ganando cada vez más atención. Durante mi trabajo en el Perú he podido detectar que existen muchos problemas de corrosión y no hay una organización capaz de combatir la corrosión no habiendo cooperación en el área de actividades anticorrosivas como tampoco divulgación del conocimiento existente sobre anticorrosión. La mayoría de ingenieros y técnicos no cuentan con un conocimiento básico en el campo de la corrosión y de la protección catódica.

Las recomendaciones del experto en orden de prioridades son las siguientes:

- 1° Hacer que en la Universidad Peruana se conozca la forma de combatir la corrosión y la aplicación de protección catódica
- 2° Para contrarrestar las considerables pérdidas ocasionadas por la corrosión debe hacerse un mayor y dinámico acercamiento para aumentar el conocimiento de corrosión e información sobre protección catódica.
- 3° En la educación de los técnicos e ingenieros se debe - crear cursos sobre anticorrosión y protección catódica en el Perú.
- 4° Es necesario desarrollar programas dirigidos al análisis de los procesos de corrosión, el esclarecimiento de los mecanismos de la corrosión y desarrollo de los métodos modernos de protección.
- 5° Crear un Comité de Control de Corrosión en ITINTEC, para trabajar en contacto directo con lo relacionado a la corrosión, programas de prevención y efectuar una estimación del costo de la corrosión en el Perú.
- 6° Establecer un Centro de corrosión y protección catódica en ITINTEC para desarrollar sus aplicaciones.
- 7° Establecer el Servicio de protección catódica y la producción de los equipos necesarios.
- 8° Considerar todo nuevo proyecto desde el punto de vista de la corrosión y prever una efectiva y adecuada protección catódica.

TABLA N° 1

DENSIDAD DE CORRIENTE PARA ACEROS DE CONSTRUCCION QUE TRABAJAN EN  
CONDICIONES AMBIENTALES

AMBIENTE	CONSTRUCCION	PROT. DE SUPER.	DENSIDAD DE CORR. mA/m <sup>2</sup>
Suelo	Tuberías, cables, tanques	Protegido con plástico	0.005 - 0.01
		Protegido con asfalto con v <sub>l</sub> drio	0.03 - 0.1
		Protegido con asfalto	0.2 - 10
		No protegido	10 - 50
Agua Dulce	Tuberías, tanques, barcos, compuertas	Protegido con buena pintura	0.03 - 0.6
		Protegido con recubrimiento antiguo	0.5 - 5
	Pilotes para muelles, pozos, tanques	No protegido	30 - 120
	Intercambiadores de calor	No protegido	100 - 300
Agua de Mar	Barcos en el puerto, diques, pontones, tanques	Protegido con buena pintura	0.5 - 15
		Protegido con antiguo recubrimiento	10 - 40
	Barcos en el mar (viaje)	Protegido con buena pintura	3 - 50
	Pilotes para muelles, tanques para balastro	No protegido	100 - 200 (inicial)
			30 - 120 (después de viaje)
Hélices de acero	No protegido	No más 500	

TABLA N° 2

POTENCIALES PARA PROTECCION CATODICA (Volts)

ELECTRODO DE REFERENCIA			
METALES	Cu/CuSO <sub>4</sub>	Ag/Ag Cl en el mar	Zn en el mar
ACERO	-0.85	-0.8	+0.25
PLOMO	-0.6	-0.55	+0.5
COBRE	-0.5	-0.45	+0.6
ALUMINIO	-0.95	-0.9	+0.15
ZINC	-1.20	-1.15	-0.09

TABLA N° 3

CARACTERISTICAS PARA PROTECTORES

PROPIEDADES	METALES FUNDAMENTALES		
	Zn	Mg	Al
1	2	3	4
Potencial Standard Met. Fundamentales V	-0,76	-2.38	-1.66
Potencial de corro- sion relativo de Elec. de Ref. Cu/Cu SO <sub>4</sub> V en Tierra	-0,9 - 1,1	-1,4 - 1,6	-0.9 - 1,2
en el Mar	- 1,1	-1,55 -1,75	-1,0 - 1,2
Rendimiento de co- rriente práctico Amp. h. Kg. <sup>-1</sup>	780 - 810	1,100 -1200	1,500 - 2420
Consumo de ánodos pract. Kg. Amp. <sup>-1</sup> .Año <sup>-1</sup>	12,0	8,0	3,6 - 5,6

TABLA N° 4

PROTECCION CATODICA DE CONSUMO DE ANODOS

MATERIAL	DENSIDAD DE CORRO. PARA ANODO A/m <sup>2</sup>	CONSUMO DE ANODOS Kg.A <sup>-1</sup> . AÑO <sup>-1</sup>
FIERRO Y CHATARRA	5,5	7 - 9
FIERRO SILICOSO 14% Si	40	0,45 - 0,9
GRAFITO	20	0,9
ALEACION DE Pb - 2% Ag.	500	0,09
Pt y Ti/Pt	10,000	0,00001
Pb - 2% Ag + Ti/Pt	10,000	0,002
Anodos de Magnetita	90	0,0015

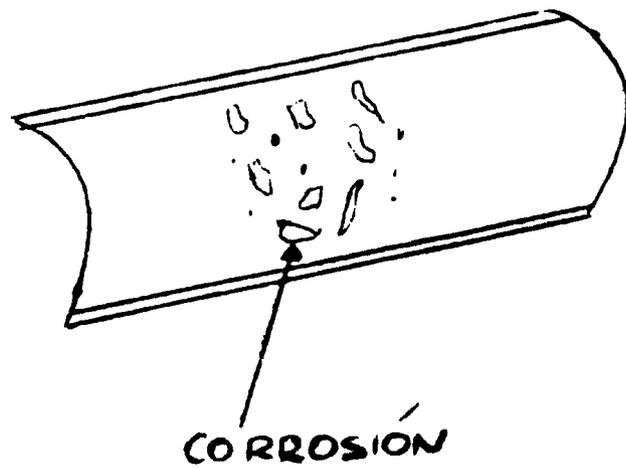


Figura 1. Típico proceso de corrosión en el interior de una tubería galvanizada.

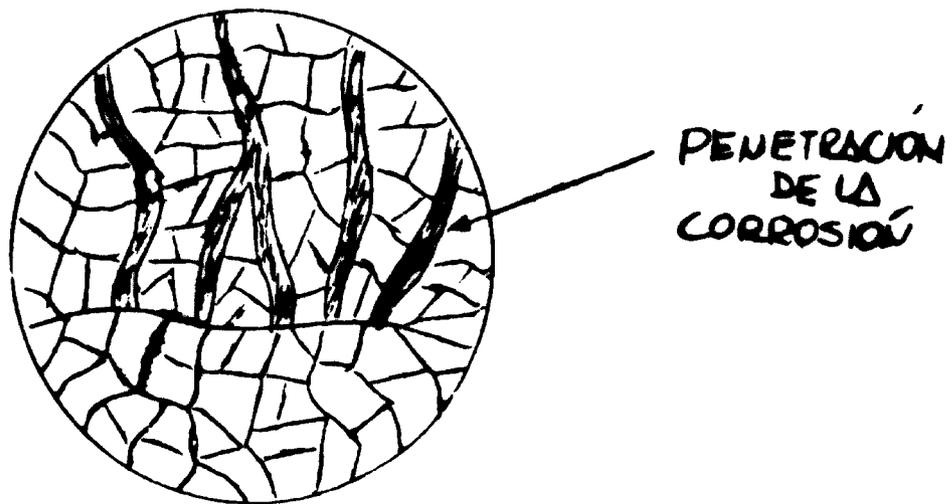


Figura 2. Análisis metalográfico de corrosión.

# PROCESO DE CORROSIÓN

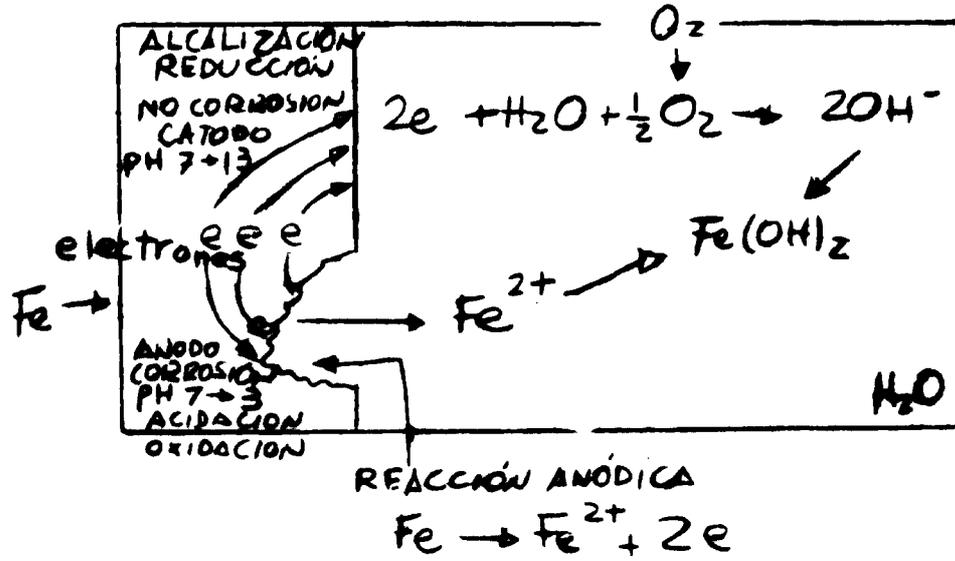


Figura 3. Proceso electroquímico de corrosión.

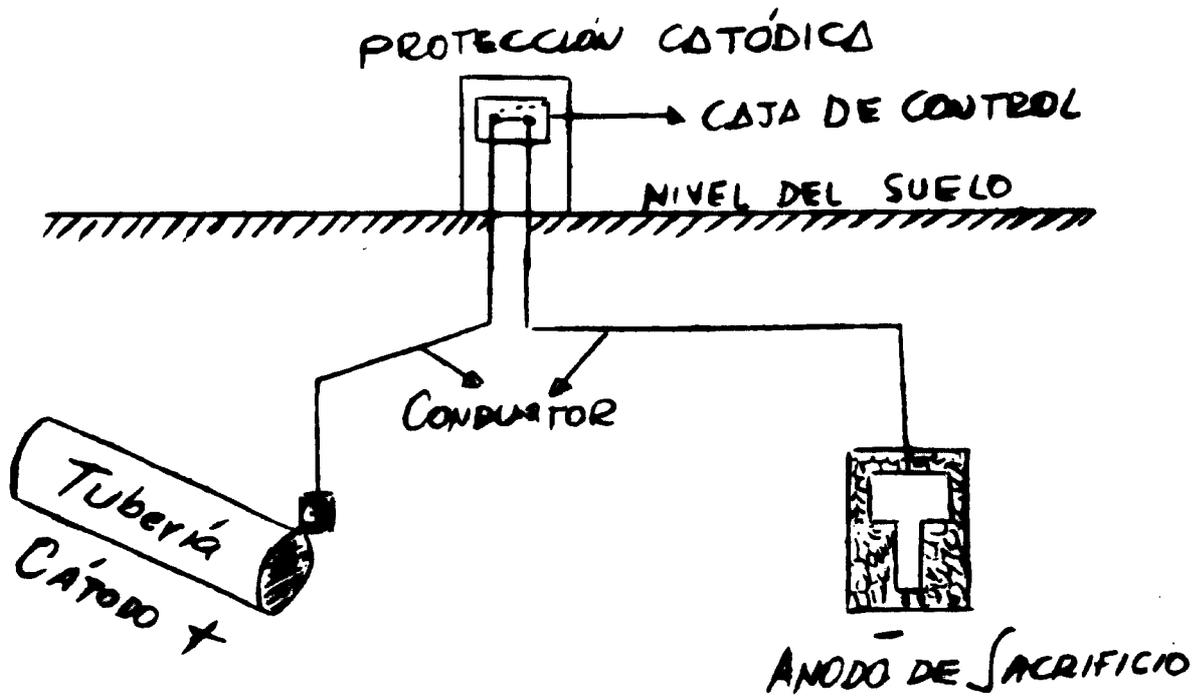


Figura 4. Protección catódica (Método: Anodo de Sacrificio)

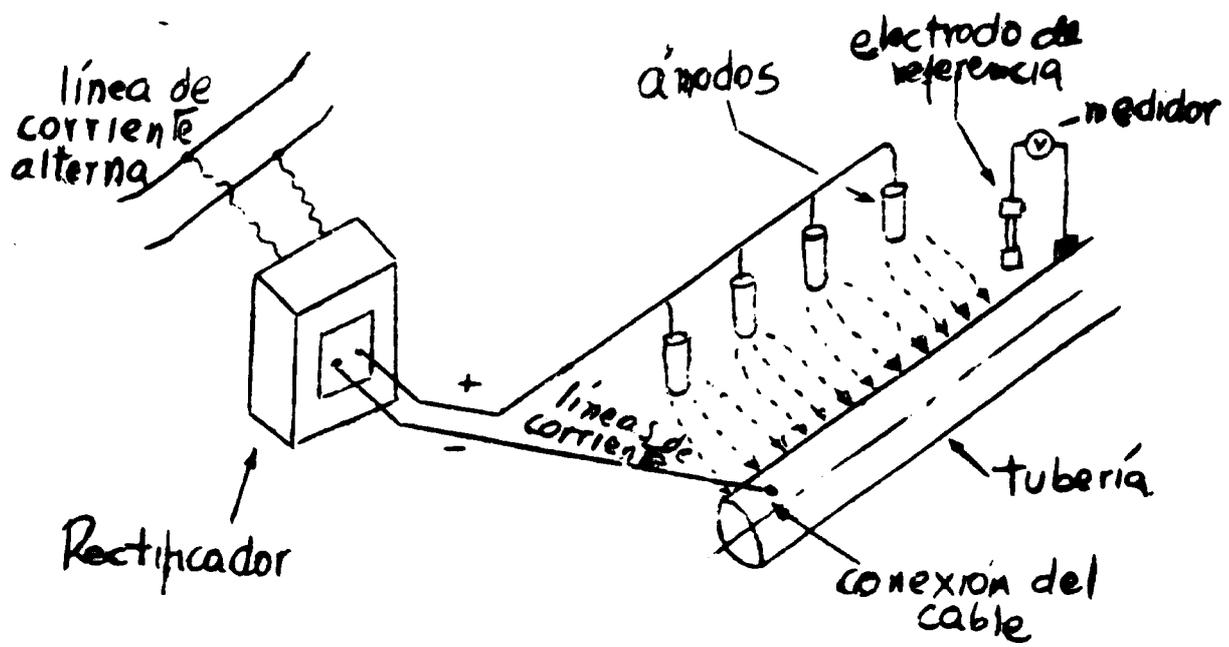


Figura 5. Protección catódica de tuberías subterráneas  
(Método: Corriente Impresa)

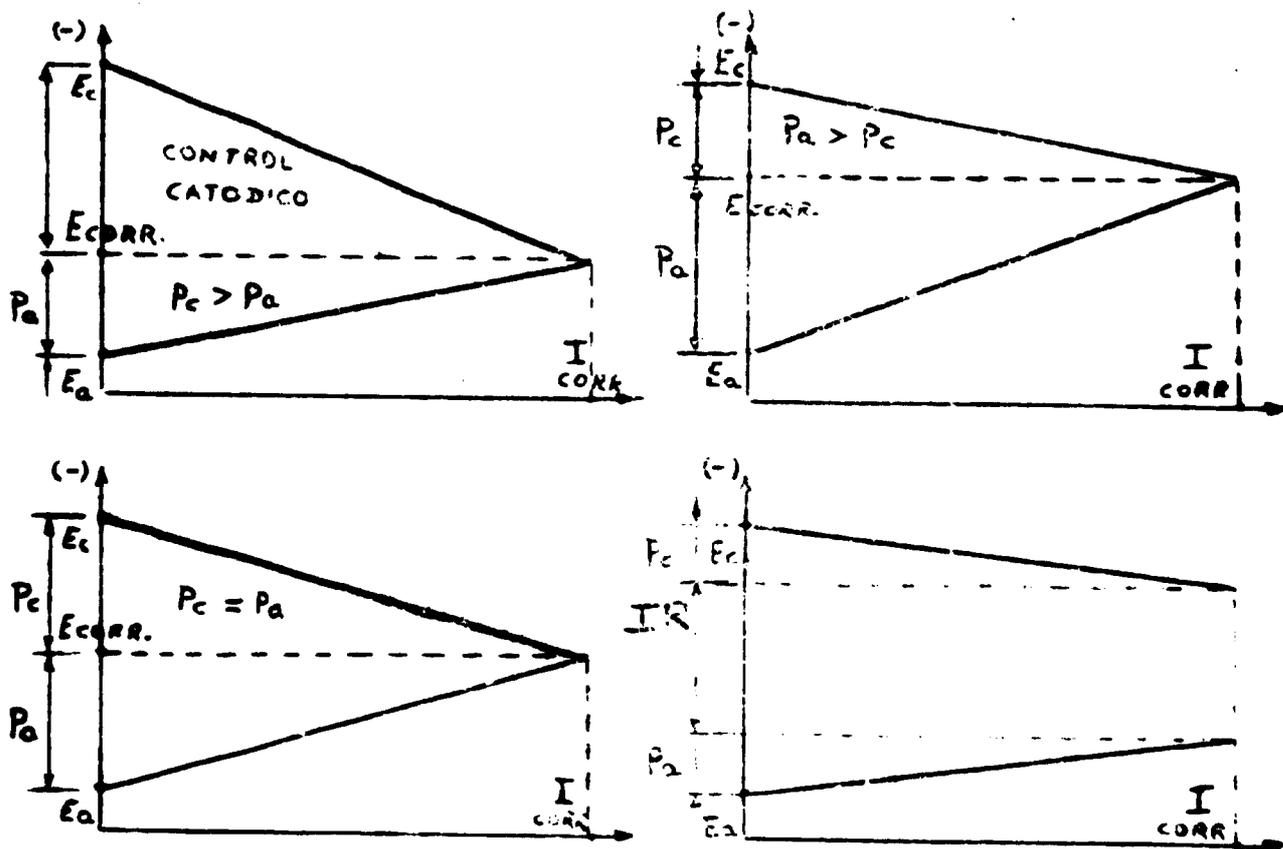


Figura 6. Diagramas de polarización para diferentes metales

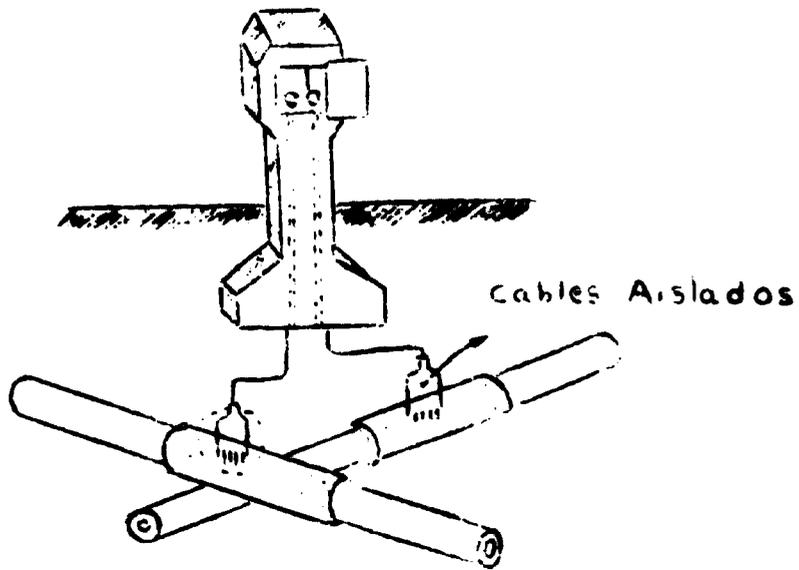


Figura 7. Caja de control de tuberías subterráneas

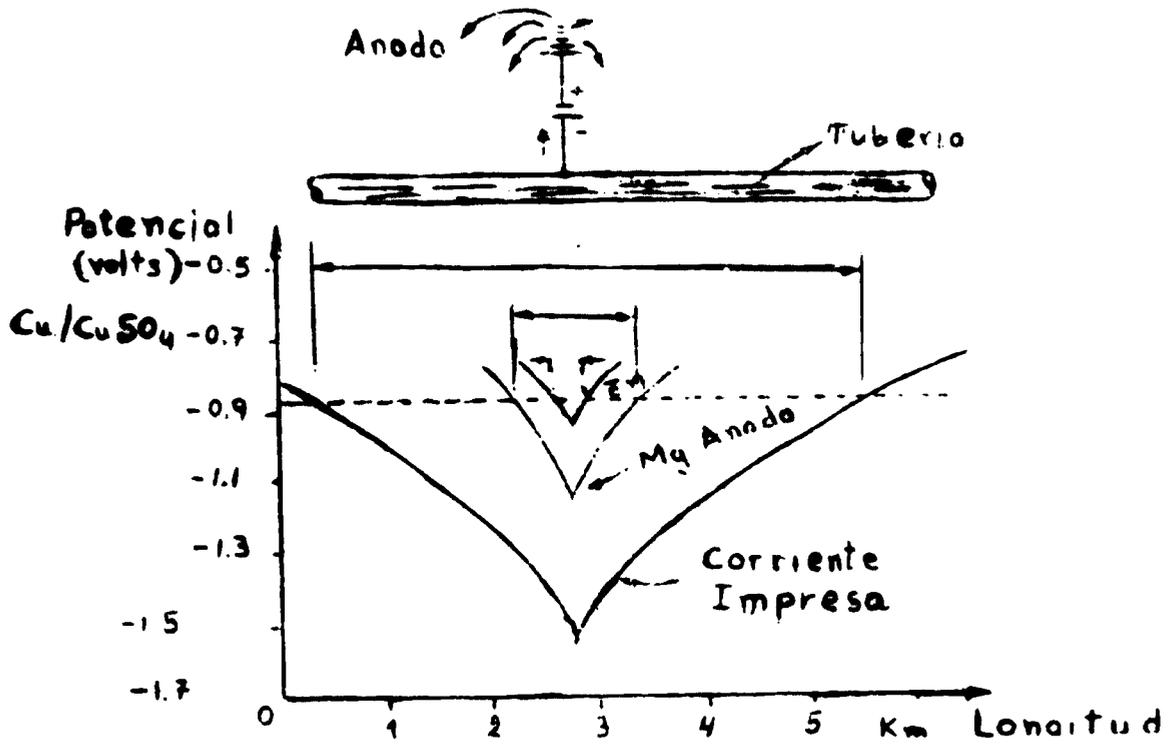


Figura 8. Distribución de potencial

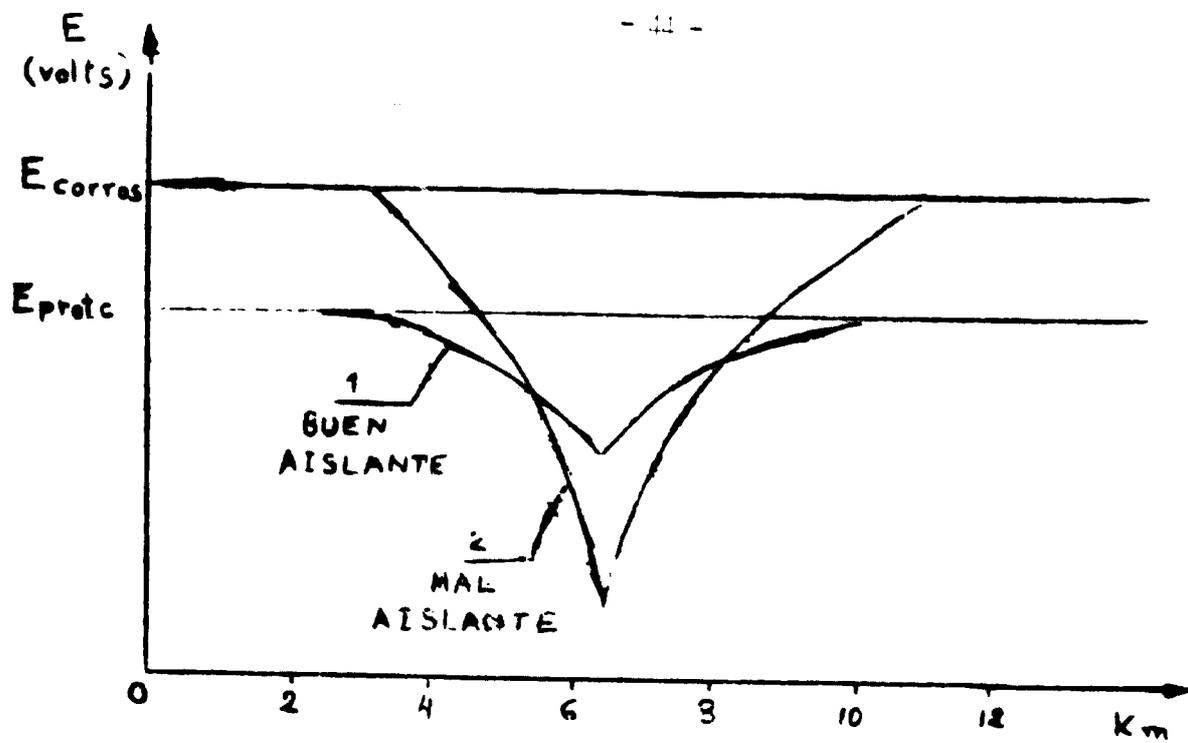


Figura 9. Distribución de potencias para tuberías subterráneas aisladas

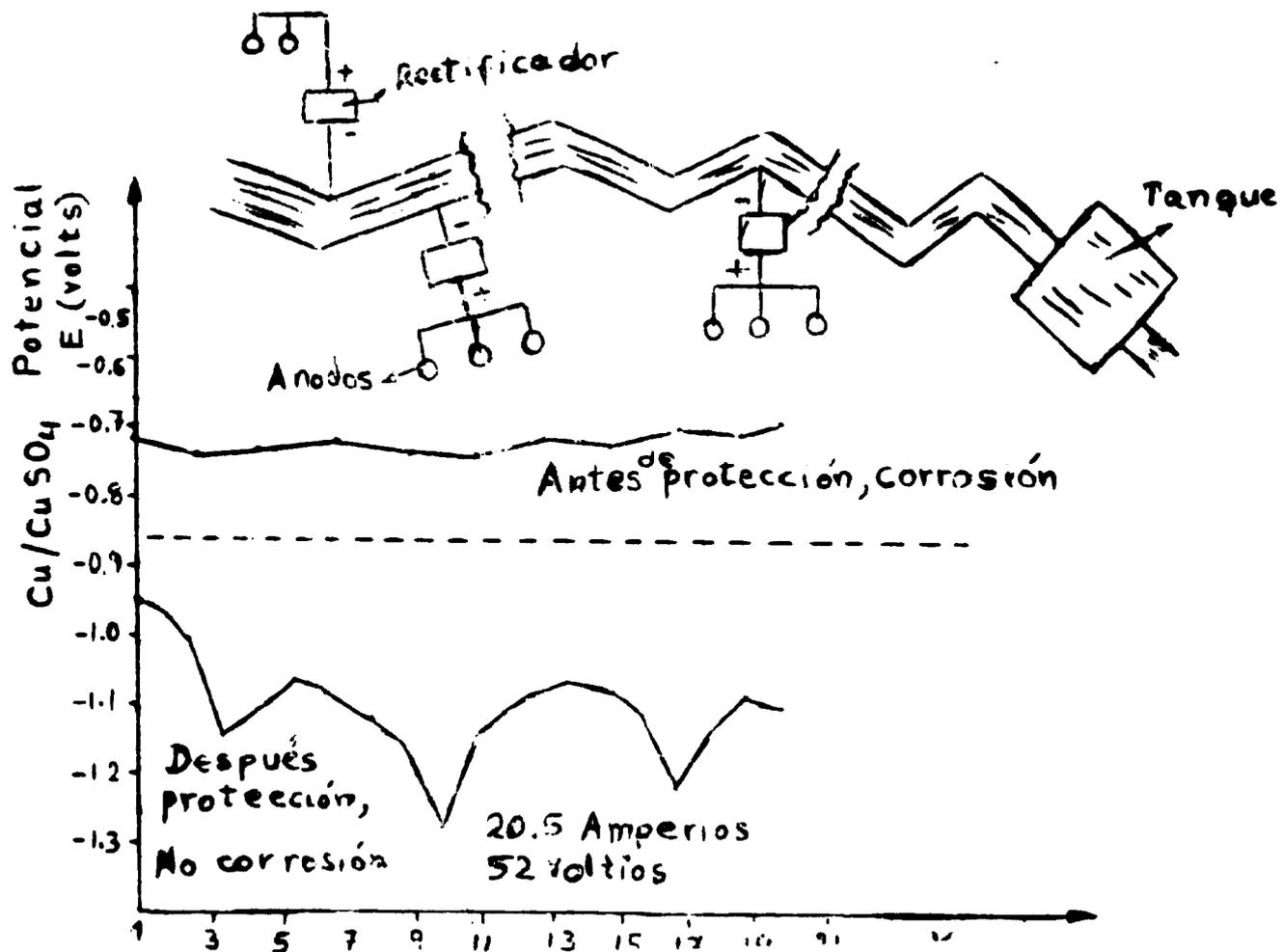


Figura 10. Protección catódica para tuberías a distancia

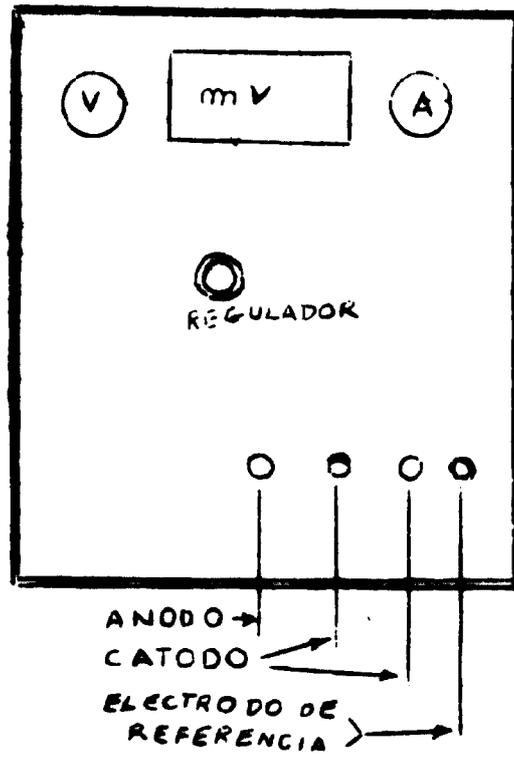


Figura 11. Estación de protección catódica

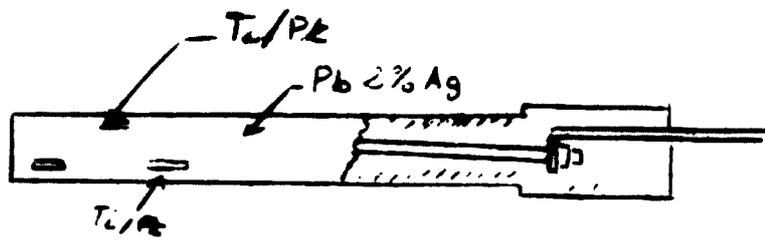


Figura 12. Anodo de plomo con 2% de plata

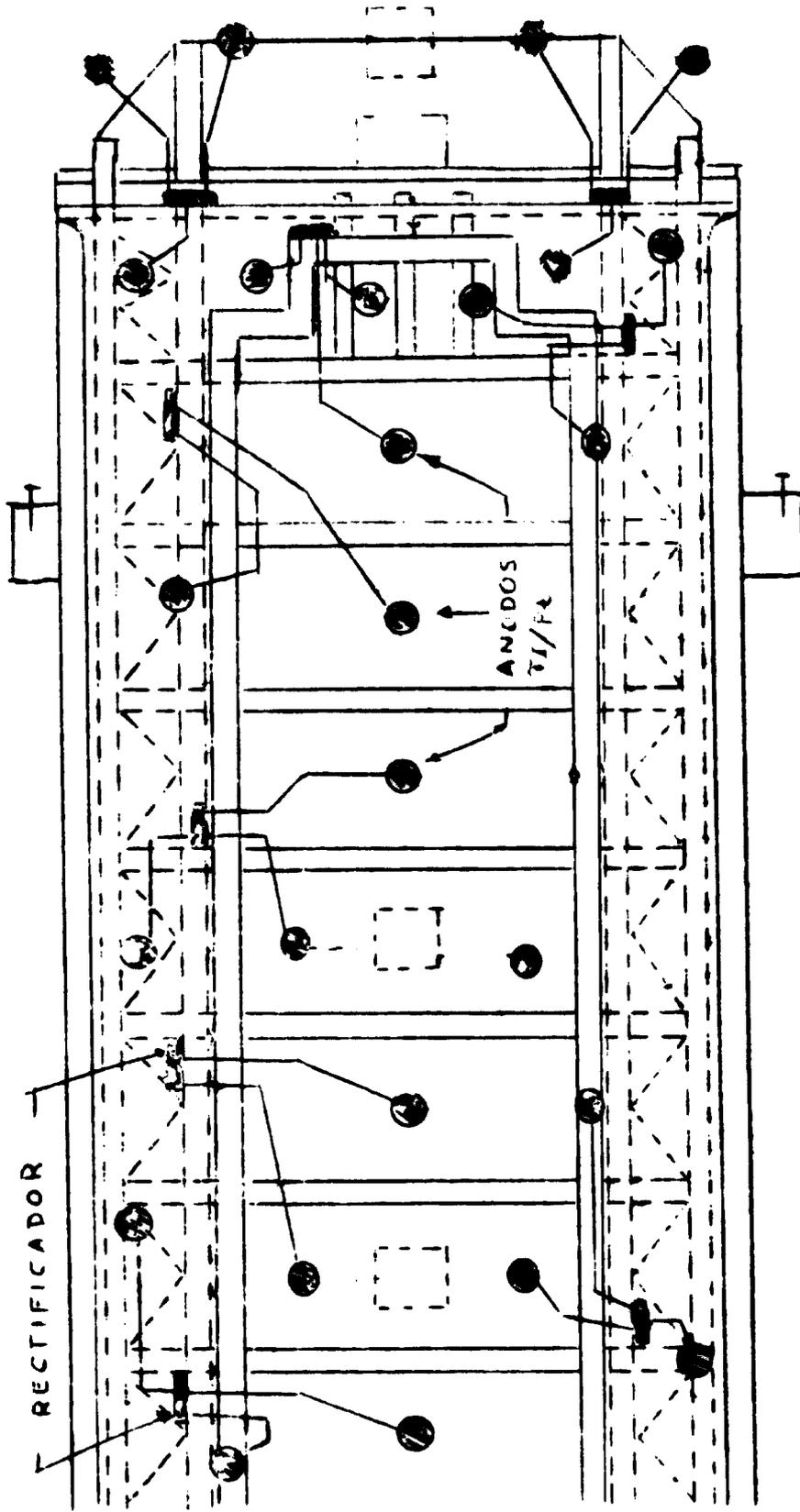


Figura 13. Protección catódica de muelles

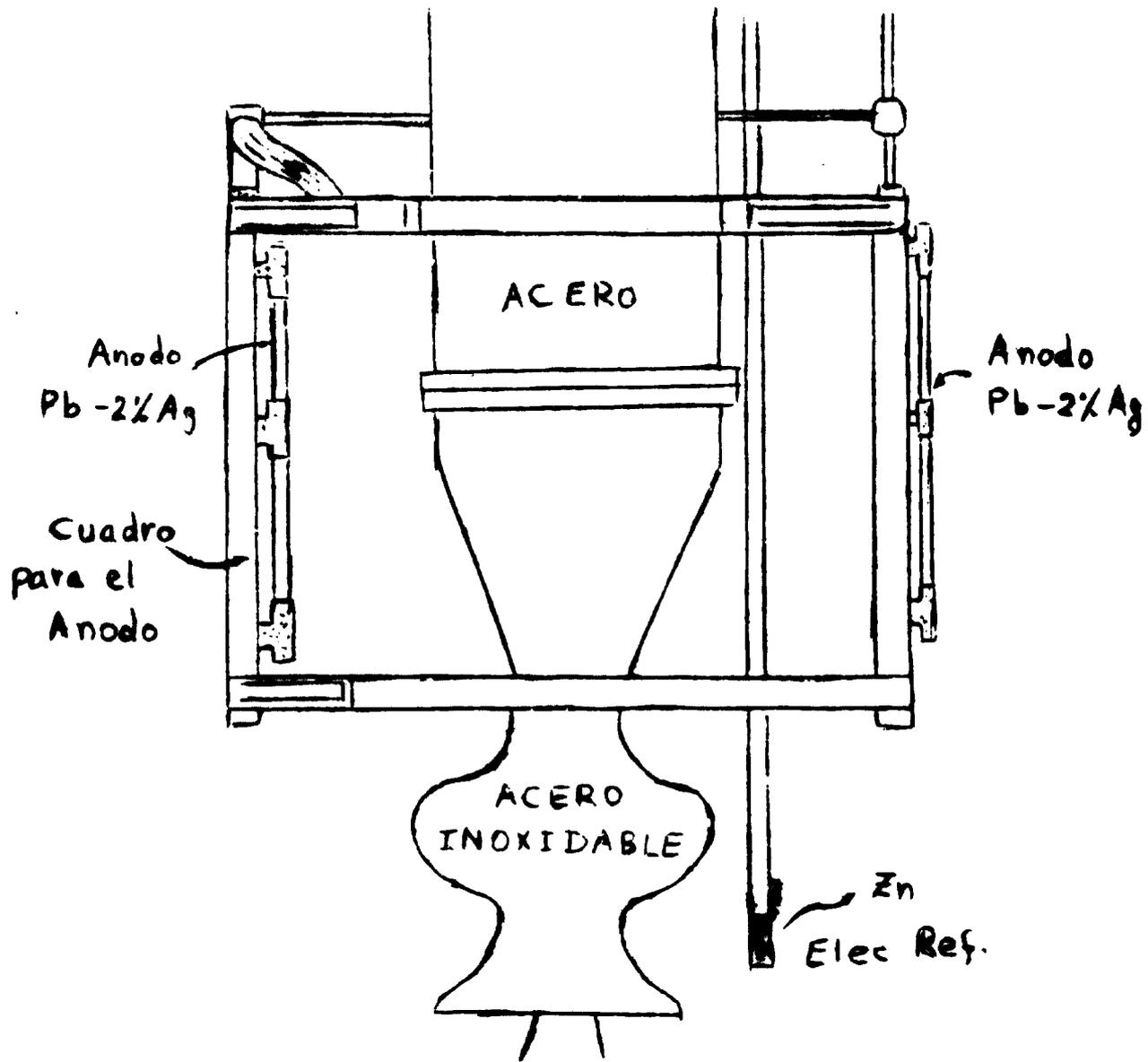


Figura 14. Protección catódica de bombas sumergidas

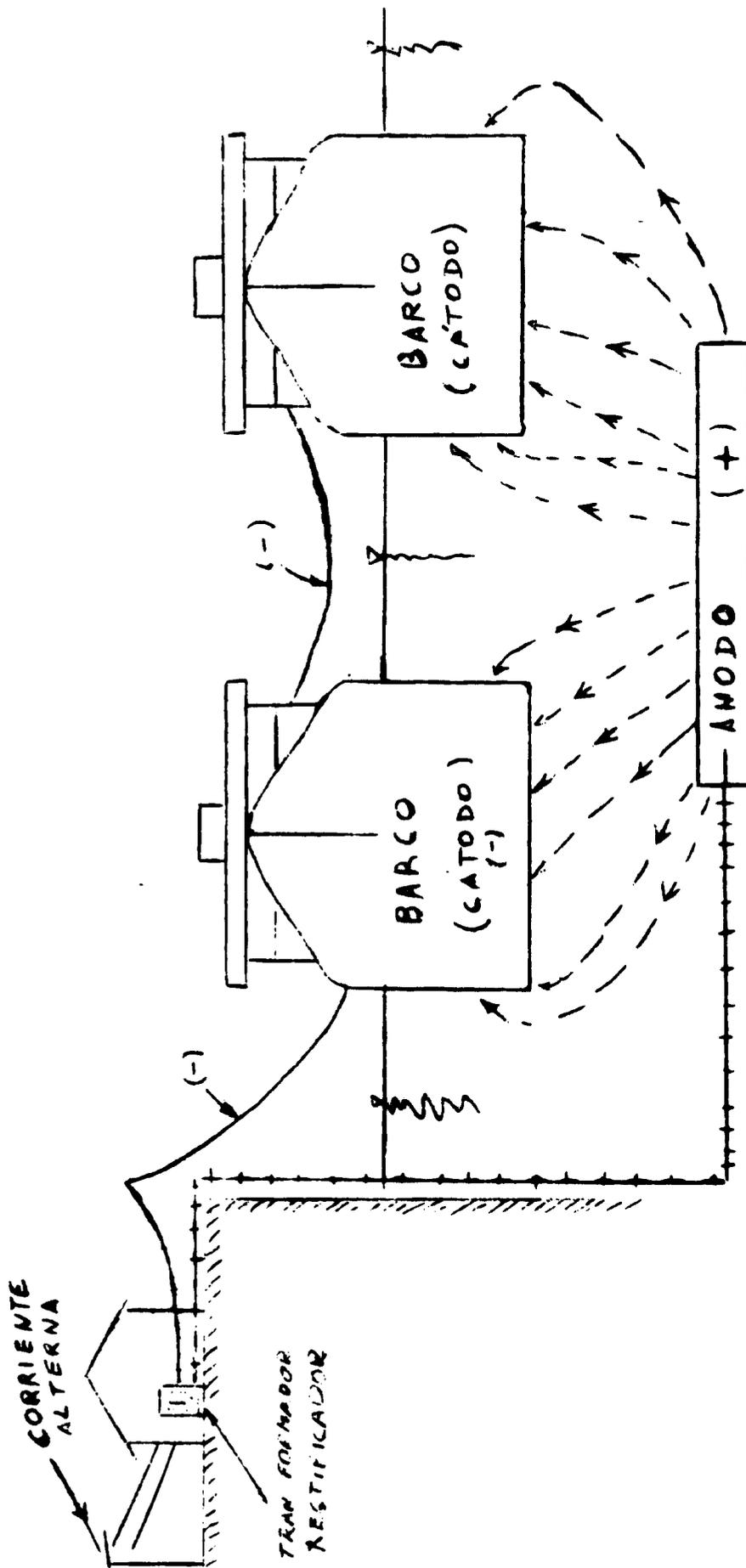


Figura 15. Protección catódica de barcos estáticos

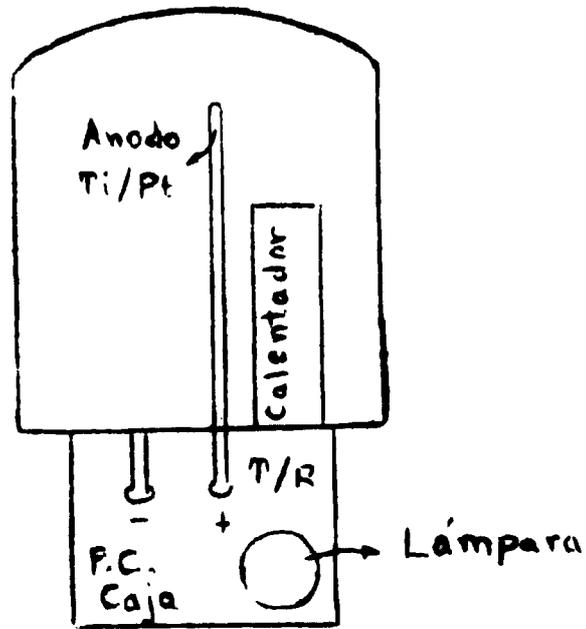


Figura 16. Protección catódica de tanques eléctricos caseros

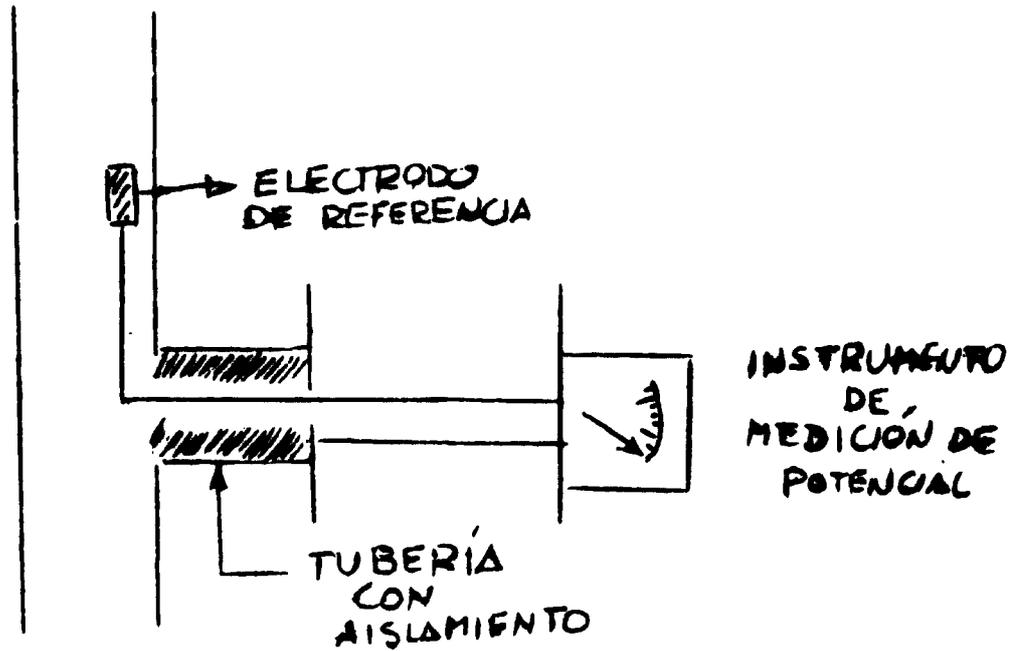


Figura 17. Medida de potencial en el interior de tuberías galvanizadas

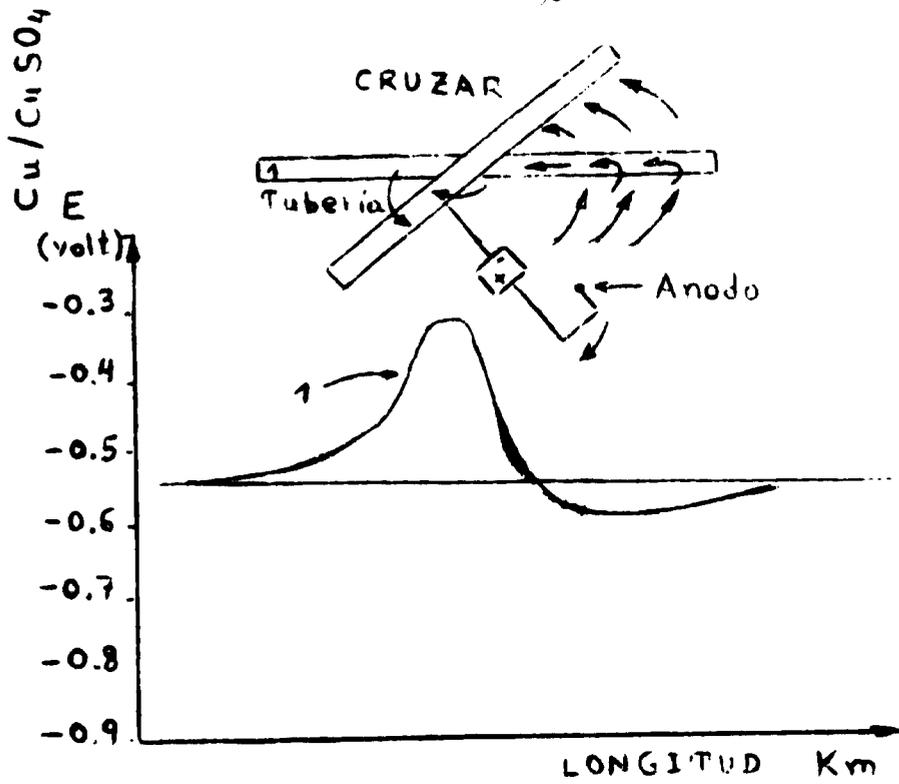


Figura 18. Protección catódica: Interferencia

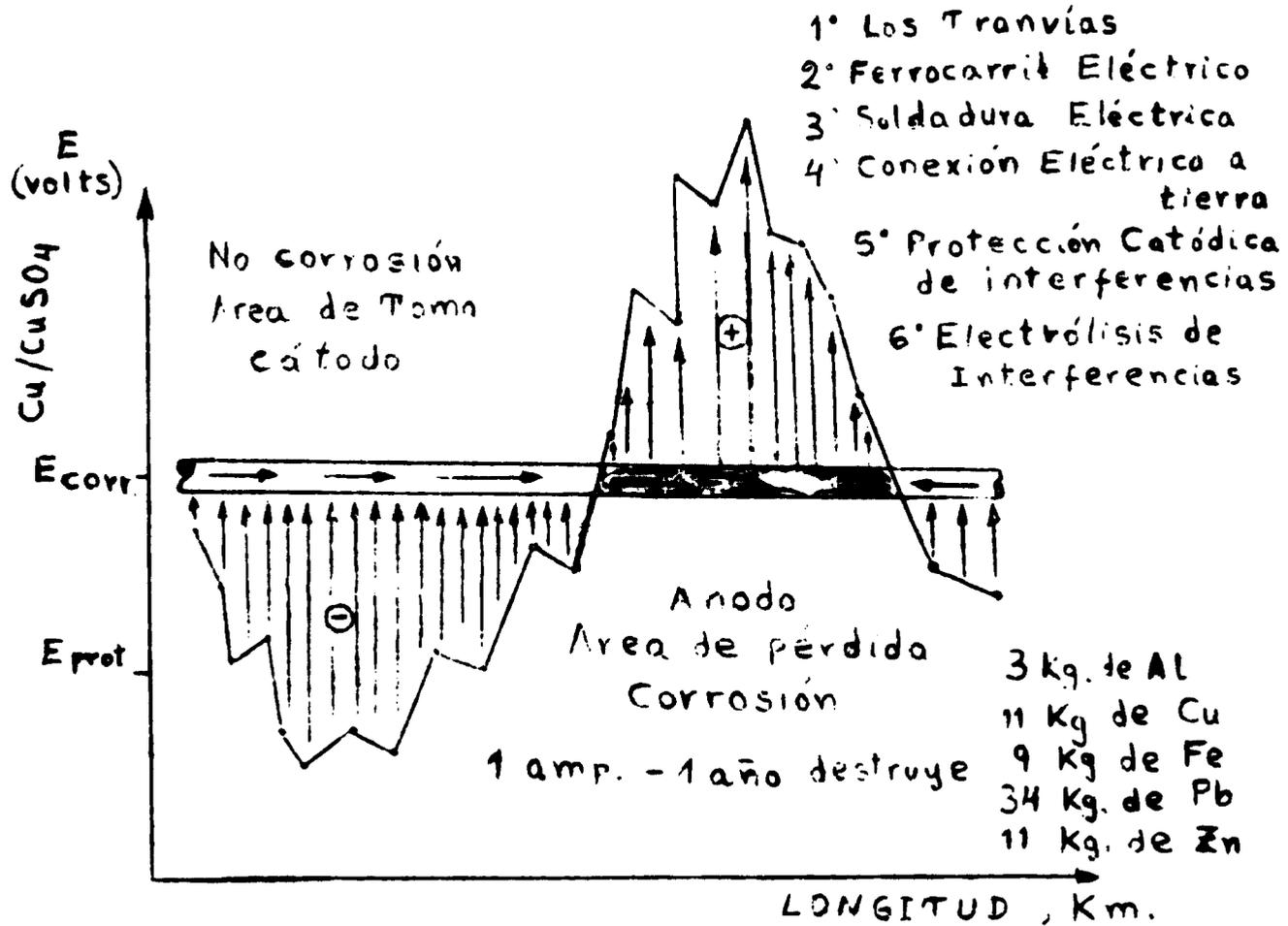


Figura 19. Diagrama típico de corriente vagabunda

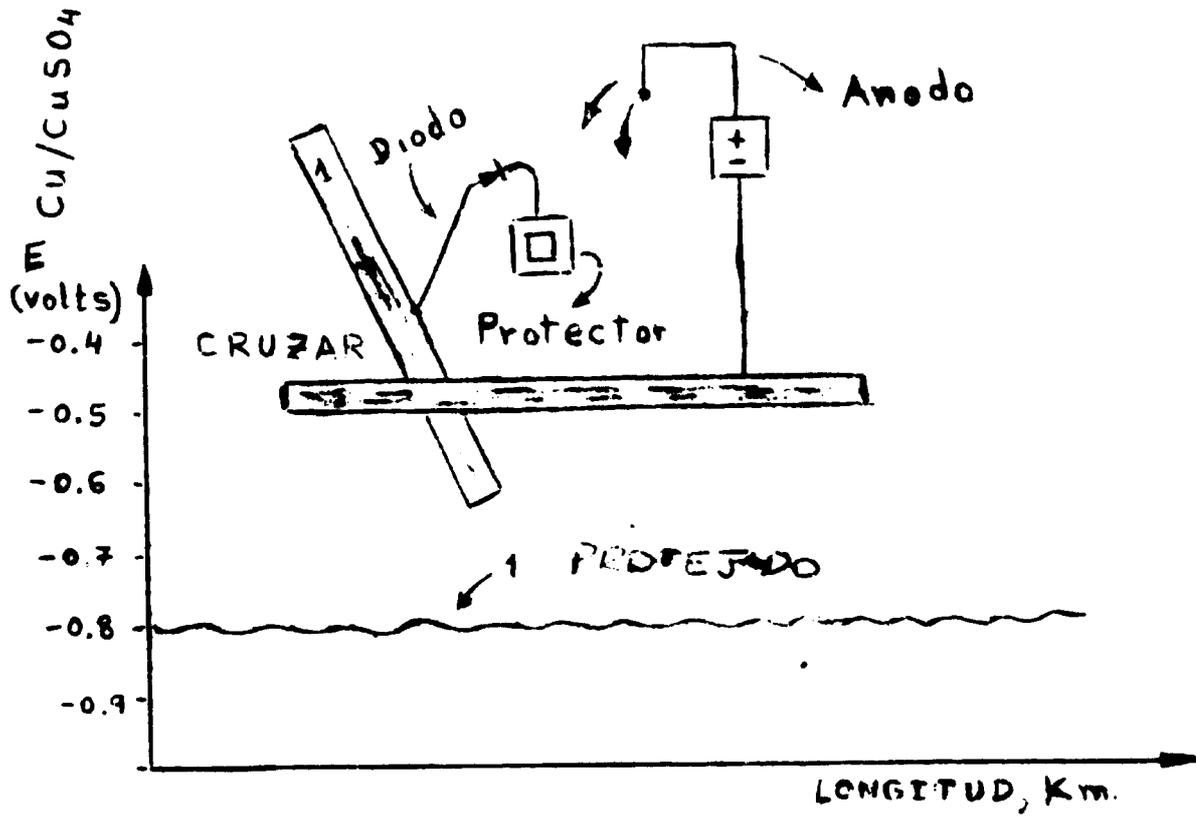
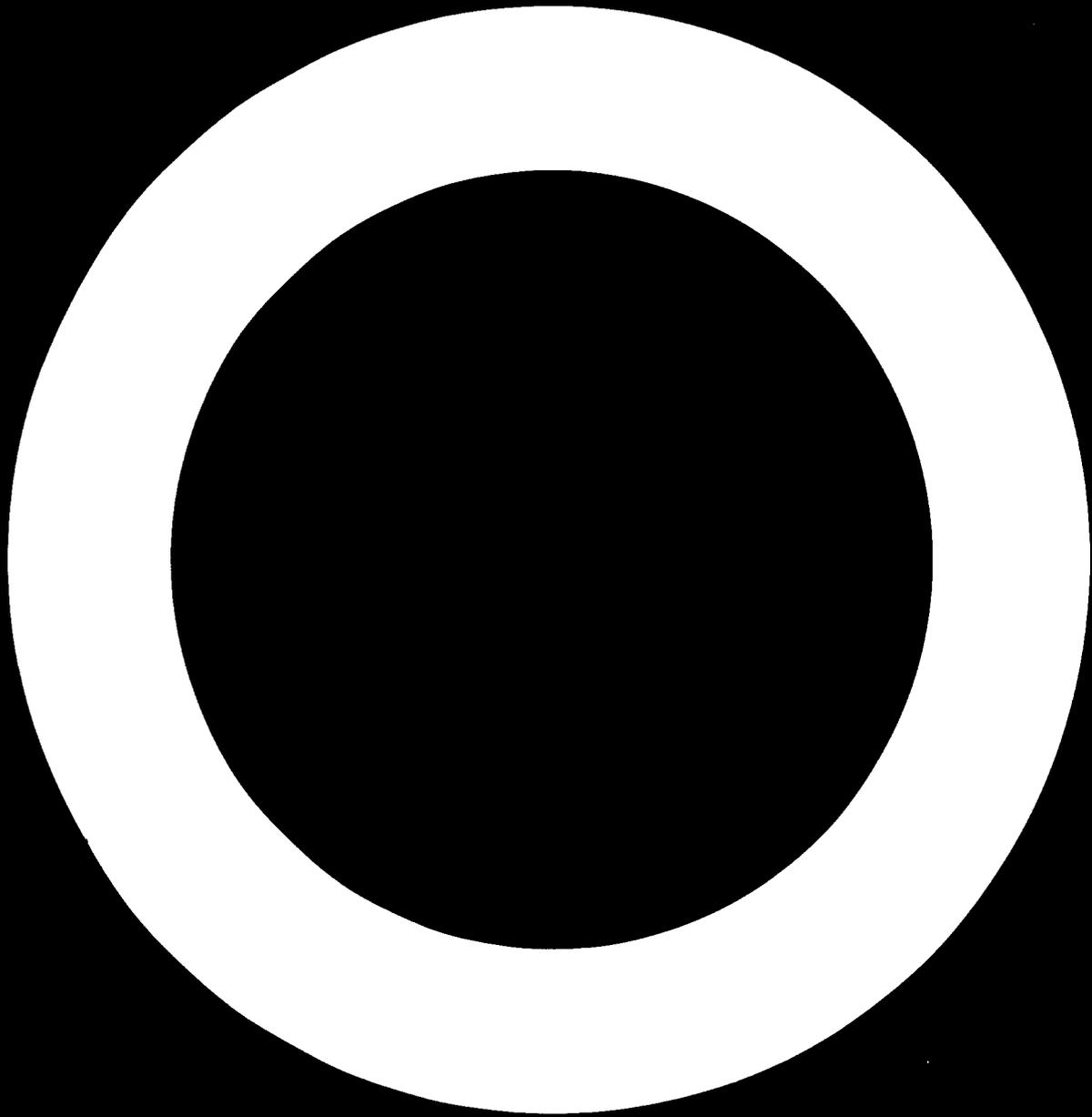


Figura 20. Protección de interferencia



Apéndice 2

INFORME DE LA VISITA DE EVALUACION TECNICA  
EFECTUADA AL OLEODUCTO NOR-PERUANO

1.0 BASES TEORICAS

1.1 Principios de Protección Catódica

La protección electroquímica ya sea con ánodos de sacrificio o corriente impresa, se obtiene cuando se polariza catódicamente una estructura metálica hasta un potencial tal, que el proceso de corrosión sea frenado. La corriente de -

polarización se puede obtener por medio de una fuente externa de corriente continua o por acción galvánica de los ánodos de sacrificio.

Como criterios para la protección catódica se aplican el potencial necesario para la protección y la densidad de corriente.

Para obtener la protección de las estructuras de aceros, es necesario cambiar el potencial de la estructura, desde un valor entre - 500 y - 650 m.V. v.s. electrodo de referencia  $\text{Cu/CuSO}_4$  sat., hasta - 350 mV vrs. el mismo electrodo.

Cuando la estructura es corroída por acción de las bacterias, el potencial debe cambiarse hasta - 550 mV. vrs. electrodo de referencia  $\text{Cu/CuSO}_4$  sat.

Para los oleoductos con buen aislamiento (cintas de materiales sintéticos) la densidad de corriente requerida está en el rango de 0.005 a 0.01 mA/m<sup>2</sup>.

El potencial de protección y la densidad de corriente pueden variar con el tiempo de vida de la instalación.

Es posible cambiar el potencial de protección, haciéndolo - más negativo que - 1200 mV, pero esto está limitado por la evolución de hidrógeno.

Un potencial muy negativo, que permita la evolución de hidrógeno, es peligroso ya que puede afectar las cintas del recubrimiento y el acero de la estructura.

Es necesario hacer notar, que cuando se hace mediciones de potencial en oleoductos con un buen recubrimiento, existe - un error debido a la caída de potencial entre la tubería y el electrodo de referencia.

Esta caída de potencial, depende de la intensidad de la corriente que pasa, y de la resistividad del recubrimiento y del suelo.

Por esto, es necesario tener aparte del criterio del potencial, otros criterios para la determinación de la protección en Oleoductos.

## 2.0 PROTECCION DEL OLEODUCTO CONTRA LA CORROSION

El Oleoducto emplea para su protección contra la corrosión recubrimientos y protección catódica.

Todas las tuberías del Oleoducto fueron arenadas y tienen una capa de pintura anticorrosiva. Luego se aplicaron recubrimientos con cintas de polietileno.

Los primeros 300 Kms. del Oleoducto Nor Peruano, desde la Estación 1 a la Estación 5, poseen ánodos de sacrificio en forma de cintas de magnesio.

El resto del oleoducto tiene ánodos de sacrificio en forma de bloques de magnesio, dentro de sacos con backfill.

De acuerdo al diagrama No WSH-CP-001 Rev. 3. Williams/Sedco/Horn. Constructores Houston, Texas, se aplicaron al Oleoducto Nor Peruano ánodos de magnesio Marco de 17 lbs., empacados, tipo A763A.

Las cintas de magnesio tienen las siguientes dimensiones 3/5" x 3/4". PETROPERU no presentó datos acerca de la cantidad y distribución de las cintas y bloques de magnesio.

Materiales - PETROPERU presentó una descripción de los materiales tales como Polyken Pipeline Primer No 919 y Polyken No 927. También descripción de la cinta Polyken 980-20 y Polyken 955-25 como última capa.

## 3.0 METODOES DE MEDICION Y APARATOS EMPLEADOS

Para realizar las mediciones se aplicó los siguientes métodos:

- 1) Mediciones de potencial v.s. electrodo de referencia  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  sat.

- 2) Mediciones de intensidad de corriente que pasa desde los protectores al oleoducto.
- 3) Mediciones de diferencia de potencial de 2 electronos de acero colocados sobre la tubería, separados entre sí 1 metro.
- 4) Mediciones de potencial en el electrodo de acero conectado al oleoducto, en la caja de control, donde no existen protectores.
- 5) Mediciones del espesor de recubrimiento de pinturas del Oleoducto secundario.

Instrumentos.- El instrumento con el que se efectuaron las mediciones de potencial e intensidad de corriente fue de fabricación polaca, marca MERATRONIX V-639, resistencia interna  $10^5 \Omega/V$ .

Los electrodos de referencia  $Cu/CuSO_4$  sat. son de fabricación polaca y norteamericana.

Para la medición del espesor se empleó el medidor de espesor magnético T-636, marca METRA, Praga, Checoslovaquia.

#### 4.0 RESULTADOS OBTENIDOS

- a) Oleoducto Nor Peruano.- Los puntos de medición y los potenciales obtenidos V.S. electrodo de referencia  $Cu/CuSO_4$  sat. se muestran en las figuras 1 y 2 así como en la tabla 1.

Como se observa en la tabla 1, se ha efectuado 14 mediciones sobre la longitud total del Oleoducto de 862.4 kms.

Esto representa 1 medición por cada 62 Kms. del oleoducto. - La cantidad de mediciones efectuadas son muy pocas para obtener información suficiente y sacar buenas conclusiones.

La fig. N° 2 representa el Potencial del Oleoducto V.S. la longitud del mismo.

La línea roja representa el nivel de potencial que corresponde a - 850 mV v.s. electrodo de referencia Cu/CuSO<sub>4</sub>, necesario para la protección catódica.

Todas las mediciones con valores entre - 600 mV y - 850 mV representan puntos sin protección catódica.

Todas las mediciones entre - 850 y - 1600 mV representan el nivel de protección catódica.

- b) Oleoducto Secundario.- Se obtuvieron resultados de las mediciones efectuados a dos oleoductos secundarios:

Trompeteros - Estación 1 y

Yanayacu - Estación 1

Estos poseen protección catódica, solo recubrimientos con espesor entre 100 y - 200  $\mu$ m.

Los resultados de potenciales se muestran en la Tabla 2.

El Oleoducto Trompeteros - Estación 1 se encuentra en gran parte cubierto de agua, asimismo el oleoducto Yanayacu - Estación 1 se encuentra también casi cubierto por agua.

Existen 2 tuberías en el oleoducto Yanayacu - Estación 1, una que lleva crudo, y otra que es de acero galvanizado y transporta combustible.

- c) Otras mediciones efectuadas

Asimismo se efectuarón:

Mediciones en Trompeteros, batería 1 y batería 2 las cuales se presentan en la tabla 3.

También se realizan mediciones en Yanayacu - Estación 1 se presentan en la tabla 4 y mediciones adicionales en la es-

tación 1 (se presentan en la tabla 5).

Estas tuberías se encuentran sobre pilotes. Cuando se produce corto circuito la tubería galvanizada se puede corroer y trabajar como protector.

## 5.0 DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados mostrados en la fig. 2 indican que parte del Oleoducto Nor-Peruano (entre las Estaciones 1 y 5) no tiene el potencial que corresponde a la protección catódica.

Entre las Estaciones 5 y 7 del Oleoducto Nor-Peruano sí se tiene una buena protección catódica contra la corrosión.

Entre la Estación 8 y Bayovar se observa tramos que tienen buena protección catódica y otros que no la tienen.

Es necesario enfatizar que los primeros 300 Kms. del Oleoducto Nor-Peruano (entre las Estaciones 1 y 5) están en ambientes muy corrosivos, ya que el oleoducto se encuentra casi cubierto por agua.

Al efectuar las mediciones, se observó que un buen número de cajas de control fueron destruidas por los nativos del lugar.

Es necesario que las cajas de plástico que se encuentran dentro de las cajas de control (entre las Estaciones 1 y 7) se cambien por cajas metálicas con pernos, que son más fuertes y durables, (como las que se encuentran entre la Estación 8 y Bayovar).

Dado que existen muy pocas mediciones de potencial e intensidad de corriente, no se puede sacar conclusiones relativas a si las cintas de magnesio funcionan bien o no. Es necesario efectuar más mediciones luego de reponer ó reparar las cajas destruidas. A partir de las mediciones efectuadas se puede concluir que existen diferentes problemas como cajas de control malogradas, no existencia de cajas de control en algunos tramos, malas conexiones, etc.

Dentro de las progresivas 308.8, 311.0 y 313.2 (donde existe buena

protección catódica) se midió una intensidad de corriente de 200 mA, en base a este dato se calculó la densidad de corriente, para una longitud de 4.4 Kms., y en la cual existe un potencial - de - 970 mV.

Para una Longitud:  $L = 4400$  m,  $\uparrow = 36"$ , superficie lateral:  $S = 12,640$  m<sup>2</sup>. la densidad de corriente resultante es:

$$d = 0.0158 \text{ mA/m}^2.$$

Este valor de densidad está en el límite de protección catódica para oleoductos con buenos aislamientos. Teniendo en cuenta, que todo el oleoducto tiene 862.4 Kms. de los cuales:

559 Kms. tienen tubería de 36"  $\phi$  y.

303.4 Kms. tienen tubería de 24"  $\phi$ .

Las superficies para estos tramos son 1 605 824 y 581 045 m<sup>2</sup>, - respectivamente. La superficie total es de 2 186 870 m<sup>2</sup>.

Suponiendo que la densidad de corriente en todo el oleoducto fuera de 0.0158 mA/m<sup>2</sup>., los requerimientos totales de corriente, se rían de 34 602 mA. se sabe por la práctica que los ánodos de magnesio se consumen a una velocidad de 8.0 Kgs. A<sup>r1</sup> año<sup>1</sup>, 1 peso para un tiempo de 3 años y, para todo el oleoducto, se necesitaría:  $35A \times 8 \times 3 = 340$  Kgs. de ánodos de magnesio. Asumiendo que cada ánodo de sacrificio pesa alrededor de 8 Kgs., para proteger todo el oleoducto se necesitaría alrededor de 106 ánodos. Como no se conoce el número de ánodos, ni su distribución, ya sea como bloques o como cintas, no se puede discutir este problema.

Consideramos que, los cálculos presentados se pueden considerar como un concepto para el diseño del sistema de protección catódica definitivo.

En cuanto al Oleoducto secundario, (Trompeteros - Estación 1) los resultados se presentan en la Tabla 2.

Estos Oleoductos no tienen actualmente protección catódica. -

los potenciales cerca a la Estación 1 son más negativos que cerca a Trompeteros, posiblemente esto dependa del proceso de penetración de agua y oxígeno desde la pintura. Se observó que cerca a la estación 1 la tubería estaba cubierta de agua. La pintura tiene un espesor entre 100 y 200  $\mu\text{m.}$ , parece estar en buen estado y no presenta zonas donde la pintura esté deteriorada.

Respecto al Oleoducto secundario Yanayacu - Estación 1, los resultados se presentan en la Tabla 2. El tubo galvanizado tiene cerca de - 800 mV y existe el peligro de que la tubería galvanizada trabaje como ánodo para la tubería que transporta crudo. Es necesario controlar de que exista un buen aislamiento entre la tubería y el soporte de ésta.

De lo contrario se recomienda aislar el soporte para evitar el corto circuito.

El potencial de la tubería que, cubierta casi totalmente por agua, indica que desde la pintura ha penetrado agua y oxígeno.

La construcción de acero sin pintura, tiene el mismo potencial - que la tubería pintada.

Las mediciones efectuadas en Trompeteros y Yanayacu se presentan en las tablas 3 y 4.

Las mediciones en Trompeteros son más positivas que en Yanayacu, esto probablemente está en relación con la penetración de agua y oxígeno, porque el suelo en Trompeteros es más seco que en Yanayacu.

Tanto en Trompeteros como en Yanayacu, no se detectó corrientes - vagabundas, estando aún cerca de los motores eléctricos.

Es necesario enfatizar que se efectuó en Trompeteros una prueba desenterrando una tubería y se detectó corrosión en ésta, la cual ha penetrado a través de la pintura.

Esta parte de la tubería estaba húmeda porque existía agua al nivel donde se encontraba enterrada la tubería.

## 6.0 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA

Sin un programa adecuado de mantenimiento, la inversión hecha en el diseño e instalación del sistema de protección catódica, es un gasto inútil.

A fin de que el sistema pueda continuar operando a niveles óptimos de protección, se deberá probar los terminales de potencial e intensidad de corriente, a intervalos regulares de tiempo. Se recomienda efectuar mediciones mensualmente.

### Inspecciones de Prueba

#### Circuito Abierto

1. Efectuar una medición del potencial en la tubería.
2. Efectuar una medición del potencial del ánodo.

#### Circuito Cerrado

1. Efectuar una medición del potencial en la tubería.
2. Efectuar una medición del potencial del ánodo.
3. Abrir el circuito, y efectuar una medición de la intensidad de corriente.

### Instrucciones para el Mantenimiento

#### Mensualmente

1. Chequear el potencial entre la estructura y el electrolito con un electrodo de referencia de Cu/sat.  $\text{CuSO}_4$ .
2. Chequear la magnitud de la intensidad de corriente.
3. Chequear todos los contactos eléctricos y limpiarlos.

#### Anualmente

1. Chequear todas las conexiones de cables, conexiones y soportes

de las conexiones, en las cajas de control.

2. Limpieza general de las cajas de control.
3. Inspección Visual del Oleoducto.
4. Inspección de los ánodos, y su comportamiento con intensidades de corriente altas.
5. Reemplazar los ánodos, luego de que se hayan consumido en un 75%.

## 7.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Oleoducto Nor-Peruano

7.1.1 Es necesario organizar y llevar a cabo el mantenimiento del sistema de protección catódica del Oleoducto Nor-Peruano.

Es muy importante reparar las cajas de control, instalar nuevas donde han sido destruidas (tramo entre la Estación 1 y la Estación 5). Debido a que casi toda esta zona está cubierta con agua, es necesario obtener potenciales muy negativos alrededor de - 950 mV. Este valor es necesario tener por 2 razones: combate de corrosión biológica y prevee la caída de potencial (dando un margen de seguridad).

Se recomienda efectuar inspecciones mensualmente, en esta zona del Oleoducto y registrar los resultados de las mediciones, de acuerdo a la Tabla 6.

7.1.2 Se propone considerar la posibilidad de aplicar un sistema de protección catódica combinada, es decir, con corriente impresa y ánodos de sacrificio.

La corriente impresa se aplicaría donde existe energía eléctrica (estaciones de bombeo y baterías). Se sabe, por el punto 6 de este informe que, para la protección catódica del oleoducto se necesita una pequeña densidad de corriente y esto garantiza una gran distancia de protección con corriente impresa.

Este método puede ser muy valioso, entre las estaciones 1 y 5 debido a que el oleoducto está cubierto por agua y el montaje de los ánodos de sacrificio, ya sea en bloques o cintas es muy difícil.

7.1.3 Se propone obtener un valor de - 950 mV - 1050 v.s. electrodo de referencia Cu/CuSO<sub>4</sub> sat. para todo el oleoducto.

7.1.4 Se propone hacer mediciones en el muelle de Bayovar a fin de probar si la conexión efectuada cuando un harco carga crudo, influye en el sistema de protección catódica o no.

Si la tiene, es necesario preparar recomendaciones al respecto.

## 7.2 Oleoductos Secundarios

7.2.1 Oleoducto Trompeteros - Estación 1.- Se propone aplicar protección catódica combinada (corriente impresa y ánodos de sacrificio). Gran parte de este oleoducto está cubierto por agua.

7.2.2 Oleoducto Yanayacu - Estación 1.- Se propone aplicar protección catódica con corriente impresa en su totalidad (aproximadamente 10 Kms. de tubería cubierta casi en su totalidad por agua). Dos estaciones de protección catódica, una Yanayacu y otra a orillas del Rio Marañón son suficientes.

## 7.3 Baterías de Trompeteros y Yanayacu

Se propone aplicar protección catódica en todos los tanques y tuberías enterradas. Aplican este método, primero en las zonas muy húmedas y luego en las secas.

## 7.4 Creación de un Laboratorio de Corrosión

Se conoce por la literatura, que luego de varios años, la protección con cintas de polietileno falla y se produce corrosión en la tubería.

Por esto se propone descubrir la tubería una vez al año en las zonas muy húmedas y observar la apariencia de la tubería.

Para controlar el proceso de corrosión y la protección catódica es necesario crear un Laboratorio de Corrosión en PETROPERU.

Es necesario enfatizar que, cada país que posee industria del Petróleo, tiene su Laboratorio de Corrosión, el cual resuelve los problemas de corrosión y de protección catódica.

Un objetivo muy importante del Laboratorio de Corrosión es mejorar el sistema de Protección Catódica para PETROPERU.

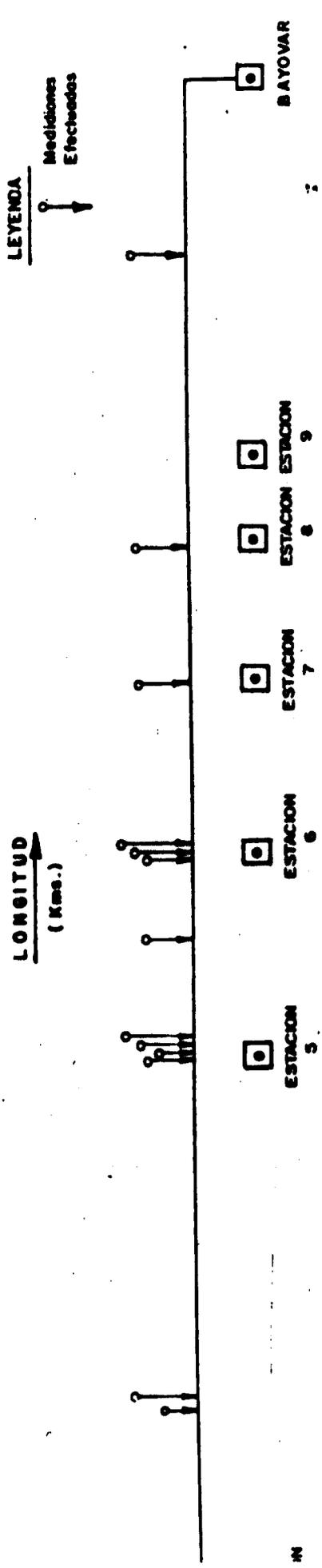


Figura 1. Mediciones efectuadas en el Oleoducto Nor Peruano.

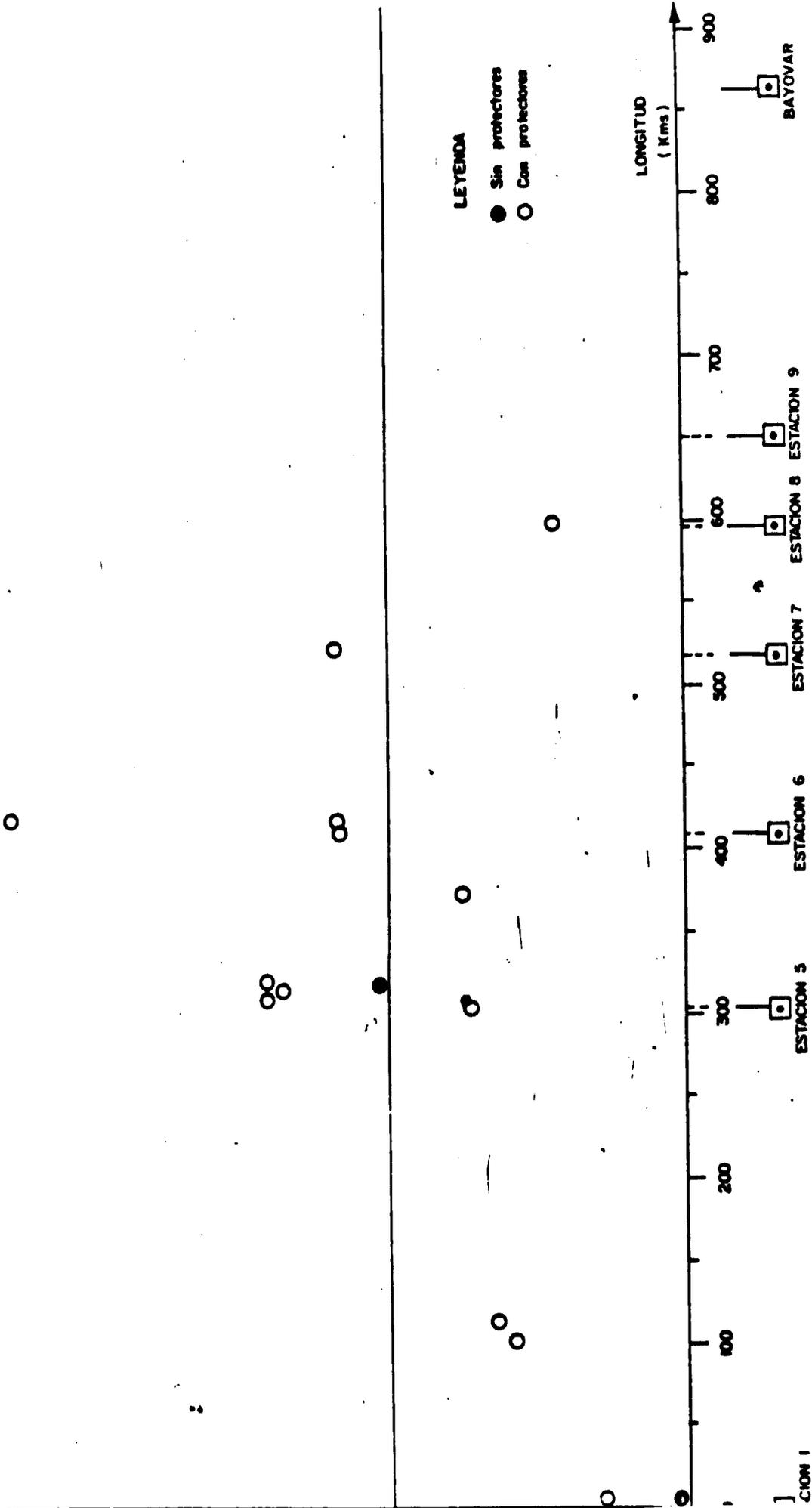


Figura 2. Distribución de potenciales medidos a lo largo del Oleoducto Nor Peruano.

TABLA 1

MEDICIONES EFECTUADAS EN LA VISITA AL OLEODUCTO NOR-PERUANO

PROGRESIVA (Km.)	PROGRESIVA ANTERIOR (km.)	POTENCIAL CADLE BLANCO (mV.)	POTENCIAL CADLE NEGRO (mV.)	POTENCIAL ANODO (mV.)	INTENSIDAD DE CORRIEN. (mA).	OBSERVA- CIONES
1.2	-	- 660	- 660	-	-	Est.1
109.7	-	- 740	- 740	-	-	"
111.0	109.7	- 760	- 760	-	-	"
306.0	305.0	- 770	- 770	-	-	Est.5
308.8	306.0	- 970	- 970	-	-	"
311.0	309.8	- 950	- 950	- 1420	200	"
313.0	311.0	- 970	- 970	-	-	"
371.0	369.0	- 780	- 780	-	-	"
414.0	412.0	- 900	- 900	-	-	Est.6
416.0	413.0	- 900	- 900	-	-	"
417.7	416.0	- 600	-1200	- 1200	-	"
517.0	513.0	- 900	- 900	- 1240	-	Est.7
592.4	-	- 700	- 700	-	-	Est.8
763.7	-	- 890	- 890	- 1600	-	Est.9

TABLE 2

MEDICIONES EFECTUADAS EN LOS OLEODUCTOS SECUNDARIOS

OLEODUCTO YANAYACU - ESTACION 1

- 1) Oleoducto de 8"  $\phi$ , que va a Saramuro:  
El acero tiene el mismo potencial con  
o sin pintura. Potencial = - 730 mV.
- 2) Punto intermedio del Oleoducto: el  
tubo se encuentra en aguajales. Potencial = - 750 mV.

OLEODUCTO TROMPETEROS - ESTACION 1

- 3) Punto 101 del Oleoducto: el espesor -  
del recubrimiento es de 150 - 200  $\mu$ m Potencial = - 740 mV.
- 4) En otro punto del Oleoducto, con el -  
mismo espesor del recubrimiento: Este  
tramo se encuentra en aguajales. Potencial = - 760 mV.

TABLA 3

MEDICIONES EFECTUADAS EN TROMPETEROS

BATERIA N° 1

- 1) Tubería subterránea de 10"  $\phi$ , que transporta el crudo al tanque N° 4: No existen corrientes vagabundas en la zona y el potencial es aproximadamente constante. Potencial = -640 mV.
- 2) En la tubería de 10"  $\phi$ , que transporta crudo - limpio de la desaladora:  
Esta tubería se encuentra a 37 cms. de distancia de la anterior, tiene un año de antigüedad y recubrimiento de pintura entre 100 y 200  $\mu$ m. Potencial = -660 mV.
- 3) Tubería de descarga de 10"  $\phi$ , que va de la batería N° 1 a Saramuro. Potencial = -580 mV.
- 4) Parte subterránea de la tubería anterior, a 1 mt. de profundidad. Este hecho es poco común - (la tubería enterrada tiene un potencial más negativo que la tubería que va sobre la superficie).  
El espesor del recubrimiento de la tubería es - de 120  $\mu$ m. Se hace la observación que, en las cercanías del grupo electrógeno es necesario poner protectores. Potencial = -600 mV.
- 5) En la tubería de 16"  $\phi$ , que va del tanque de - crudo limpio a Saramuro.  
La tubería tiene un recubrimiento de 50  $\mu$ m, y - la capacidad del tanque es de 30,000 barriles. Potencial = -630 mV.

MEDICIONES EFECTUADAS EN TROMPETEROS

- 6) En la tubería de 10"  $\phi$ , que sale del tanque 4 y va a la desaladora.  
La tubería se encuentra en aguajales. Potencial = - 645 mV.
- 7) Tanque N<sup>o</sup> 4: recibe petróleo crudo (sin tratar), de las tuberías 1 y 2, de 6 y 10"  $\phi$  respectivamente.  
Capacidad del tanque, 30,000 barriles. Potencial = - 600 mV.
- 8) Tubería de 10"  $\phi$ , que viene de la desaladora y va al tanque N<sup>o</sup> 5. Temperatura de operación : 130°F. Potencial = - 575 mV.
- 9) Tubería de 16"  $\phi$ , que sale del tanque N<sup>o</sup> 5 y va a Saramuro. Potencial = - 570 mV.

BATERIA N<sup>o</sup> 2

- 1) Tanque de decantación (crudo y agua), de 30,000 barriles. El tanque elimina bastante agua salada, el pH del agua es 6. Potencial = - 590 mV.
- 2) Tuberías 1 y 2 que van a Saramuro. Potencial = - 600 mV.

TABLA 4

MEDICIONES EFECTUADAS EN YANAYACU

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| 1) Tanque de almacenamiento, de donde se bombea a Saramuro. El tanque tiene un recubrimiento de 200 $\mu\text{m}$ , el suelo es arcilloso. | Potencial = - 490 mV. |
| 2) Tubo soporte, con electrodo enterrado.  | Potencial = - 730 mV. |
| 3) Tubo galvanizado que transporta combustible.  | Potencial = - 800 mV. |

MEDICIONES ADICIONALES EFECTUADAS EN LA ESTACION 1

- 1) Tubería de la Estación Terminal de Saramuro. De esta estación el crudo se transporta por barco. Potencial = - 680 mV.
- 2) Caja de Control recubierta con pintura que contiene pigmentos de cromatos. Potencial = - 140 mV.
- 3) Tubería de 24"  $\phi$  que va al tanque N<sup>o</sup> 1 de almacenamiento de crudo. Potencial = - 690 mV.
- 4) Tanque de almacenamiento N<sup>o</sup> 1 de crudo, capacidad del tanque: 120,000 barriles. Potencial = - 690 mV.
- 5) Tubería de 10"  $\phi$ , que llega de Trompeteros. No existe corrosión, el tubo se encuentra en arena. Potencial = - 710 mV.
- 6) Tubería soporte de 8'  $\phi$ , que transporta crudo - desde Pontón a Saramuro. Existe un lento proceso de corrosión. La tubería tiene una parte protegida con pintura y recubrimiento epóxico y, otra parte cubierta con cintas de polietileno. Potencial = - 680 mV.
- 7) Tubería de 4"  $\phi$ , que transporta combustible. Potencial = - 680 mV.

TABLA 6

FORMA DE REGISTRAR LAS MEDICIONES

FECHA DE LA MEDICION	CORRIENTE (mA).	N° DE LA CAJA DE CONTROL	POTENCIAL (en mV) v.s. ELEC. DE REF. Cu/CuSO. Sol.		OBSERVACIONES	NOMBRE Y FIRMA DEL OPERADOR QUE EFECTUO LA MEDICION
			TUBERIA	PROTECTOR (sin corr).		
1	2	3	4	5	6	7

Apéndice 3

INFORME DE LAS INSPECCIONES EFECTUADAS EN LA AV. PRIMAVERA A FIN  
DE DETERMINAR LA EXISTENCIA DE CORRIENTES VAGABUNDAS

1.0 BASES TEORICAS

1.1 Corrientes Vagabundas

Se entiende por corrientes vagabundas de corrosión a la corriente continua que pasa por otro conductor diferentes al del circuito principal, siendo esta corriente la causante de la corrosión.

La magnitud de la corrosión generada por el paso de corriente vagabunda depende de los siguientes factores:

- a) Cantidad de corriente que circula.
- b) Area de la estructura por la que circula la corriente.
- c) Período de tiempo durante el cual ocurre el efecto.

Un diagrama típico de corriente vagabunda (Ver Figura 1), tiene 2 zonas:

- Una zona catódica y otra zona anódica y, cuando estas zonas son constantes esta corriente es estática, pero en la práctica todas son dinámicas y cambian de amplitud y dirección con el tiempo. Típicas fuentes de corriente vagabunda son: líneas de alta tensión, ferrocarril eléctrico, equipo de soldar, instalaciones puestas a tierra, protecciones catódicas externas, sistemas de electrolisis y electrogalvánicas y otros. En la tabla I que se muestra más adelante se pueden ver las pérdidas de peso debidas a la disolución anódica de metales cuando para una intensidad de corriente de 1 amperio en 1 año.

TABLA N° I

Hierro	9,1	Kgs.
Cobre	10,4	"
Plomo	33,8	"
Zinc	10,7	"
Aluminio	2,9	"

La disolución anódica, debida a las corrientes vagabundas siempre crea corrosión por picadura.

Para combatir dichas corrientes vagabundas, generalmente se aplica 4 métodos:

1. Método preventivo (conexiones de baja resistividad, en circuitos de corriente continua, buen aislamiento, etc).
2. Uniones aislantes.

3. Disminución de la cantidad de corriente que ingresa a la estructura.

4. Protección catódica y drenaje.

2.0 METODOS DE MEDICION Y APARATOS EMPLEADOS

- 1) Medición de diferencia de potencial, empleando 2 electrodos de referencia  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  sat a una distancia de 1 mt.
- 2) Medición de diferencia de potencial, e intensidad de corriente en una estructura de acero (tuberfa simulada), a una distancia de 1 mt.
- 3) Medición de potencial acero-suelo con un electrodo de referencia  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  sat.
- 4) Mediciones de la resistividad especifica del suelo.

INSTRUMENTOS

- 1) El instrumento con el que se efectuaron las mediciones de potencial e intensidad de corriente fue de fabricación polaca, marca MERATRONIK V-639 resistencia interna  $10^5 \Omega/V$ .
- 2) Dos electrodos de titanio platinado.
- 3) Electrodos de referencia  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  sat.
- 4) Fuente de f.e.m. de 1.5 V.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

De acuerdo a las mediciones efectuadas se han obtenido valores de diferencia de potencial en los lugares que a continuación se indican:

1.- Zona de la Av. Primavera, frente al Centro Comercial.-

- a) Diferencia de potencial con dos electrodos  $\text{Cu/CuSO}_4$  sat:  
9 - 12 mV.
- b) Potencial entre dos alambres de acero, conectados por una barra de acero de 1 mt. de longitud.  
0.34 mV.
- c) Potencial acero-suelo con electrodo de referencia de  $\text{Cu/CuSO}_4$  sat:  
- 0.52 V. (resistencia específica: 80 ohm-m.)

2.- En la Av. Primavera frente a la Urb. La Calera de Monterrico.

- a) Diferencia de potencial con dos electrodos  $\text{Cu/CuSO}_4$  sat:  
9 mV. (a veces el potencial es variable, rango:  $\pm 45$  mV)
- b) Potencial entre 2 alambres de acero, conectados por una barra de acero de 1 mt. de longitud:  
0.29 mV.
- c) Potencial acero-suelo con electrodo de referencia de  $\text{Cu/CuSO}_4$  Sat.  
(a veces el potencial es variable, - 0.49 V. rango:  $\pm 45$  mV)

3.- En la Av. Primavera, 500 mts. más abajo de la Urb. La Calera (hacia Lima).

- a) Diferencia de potencial con dos electrodos  $\text{Cu/CuSO}_4$  sat:  
9 - 11 mV.
- b) Potencial entre 2 alambres de acero, conectados por una barra de acero de 1 mt. de longitud:  
0.88 mV.

c) Potencial acero-suelo con electrodo de referencia:

- 0.50 V.

4.- En la Av. Primavera, 1000 mts. más abajo de la Urb. La Calera (Hacia Lima).

Diferencia de potencial con dos electrodos Cu/SuSO<sub>4</sub> sat:

7 - 9 mV.

5.- En una zona de San Borja sin posibles efectos de corrientes vagabundas.-

Diferencia de potencial con dos electrodos Cu/CuSO<sub>4</sub> sat:

4 - 5 mV.

#### 4. DISCUSION DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que, aparte de la zona de la Urb. La Calera, en el resto de la Av. Primavera no existen corrientes vagabundas.

Para poder determinar con precisión, si existen o no corrientes vagabundas en la zona de la Urb. La Calera, es necesario contar para las mediciones, con un registrador de corriente, que trabaje durante las 24 horas. Cabe anotar que actualmente el ITINTEC viene gestionando la adquisición de este tipo de equipos.

#### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Si bien es cierto que durante las mediciones efectuadas a fin de detectar corrientes vagabundas que puedan afectar las tuberías de concreto pretensado han dado como resultado la no existencia de éstas en gran escala que pudieran afectar a las instalaciones, es necesario considerar que por tratarse de una tubería que se encuentra a lo largo de una línea de alta tensión, siempre existe alguna posibilidad que en futuro pueda crear problemas de corrosión por corrientes vagabundas. Asimismo es necesario tener en cuenta que la corrosión de los alambres se pueden producir también debido a filtraciones a través de las paredes de la tubería por la alta presión existente y por vibración de las tuberías debido al tráfico y por otros motivos.

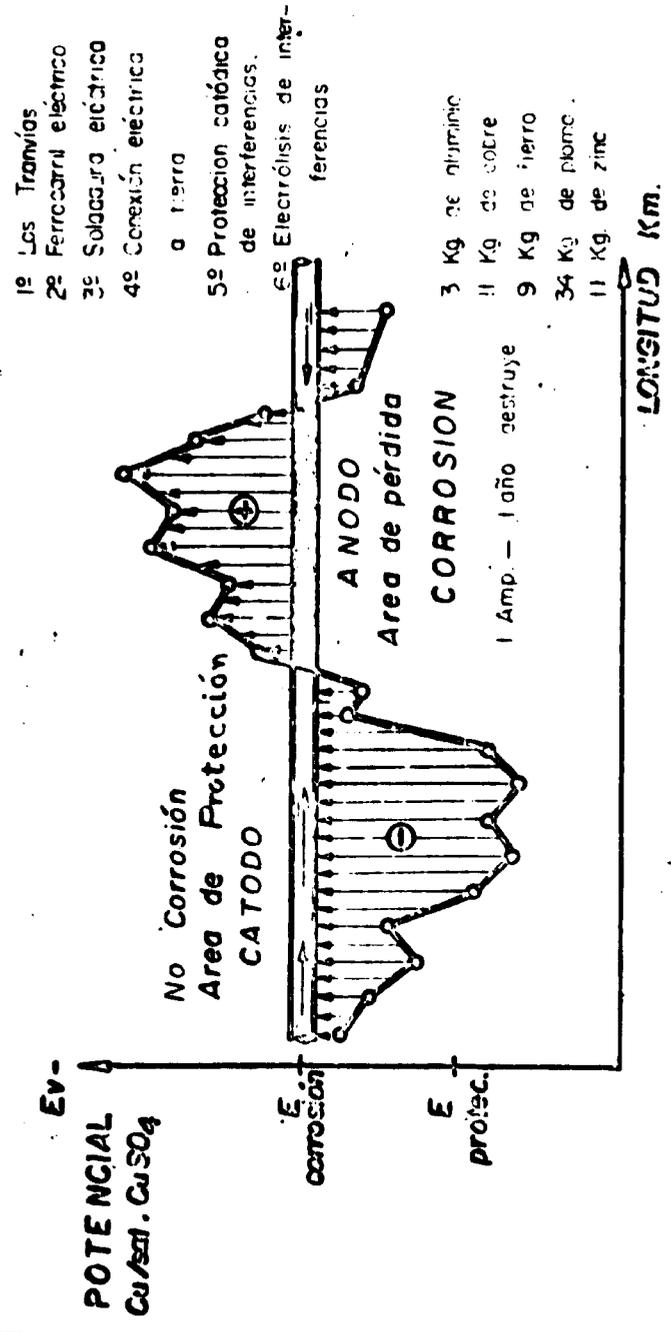
Por lo consiguiente se recomienda que se coloquen en las tuberías a ser instaladas la protección catódica por el método de ánodos de sacrificio empleando el magnesio como ánodo y recubrimientos bituminosos, asimismo se deben colocar cajas de control para su chequeo correspondiente.

Debido al mayor potencial del acero en concreto, los criterios para la protección catódica de estructuras de concreto reforzado son diferentes de los empleados normalmente para estructuras de acero.

Para determinar la exacta densidad de corriente y el potencial de protección catódica, es necesario hacer investigaciones en el laboratorio de ITINTEC, con las tuberías empleadas por ESAL, así como con el agua potable.

Es necesario tener en cuenta que el costo de la protección catódica en una línea de distribución es relativamente bajo en relación con los problemas posteriores ocasionados por la corrosión.

# DIAGRAMA TIPICO DE CORRIENTE VAGABUNDA



259

Apéndice 4

INFORME DE LAS INSPECCIONES TECNICAS REALIZADAS A TUBERIAS DE CONCRETO  
PRETENSADO INSTALADAS EN EL DISTRITO DE SAN JUAN DE MIRAFLORES

1.0 BASES TEORICAS

1.1 Protección Catódica

Se conoce dos métodos de aplicación de la protección catódica:

- 1) Por Anodos de sacrificio
- 2) Por corriente impresa.

En las figuras 1 y 2 se muestran ambos sistemas.

En la aplicación del método de ánodos de sacrificio, se emplea siempre aleaciones de aluminio, magnesio y zinc, las que son electroquímicamente más negativas que el metal a protegerse.

Para la aplicación del método de corriente impresa es necesario tener una fuente de corriente continua y un ánodo localizado a cierta distancia de la estructura a protegerse.

El principio de la protección catódica se puede explicar utilizando el diagrama de corrosión de Evans, que se presenta en la Fig. 3.

Sobre la superficie del metal que se corroe siempre existen zonas catódicas que tienen un potencial  $E_K$  y zonas anódicas con potencial  $E_A$ .

Cuando se produce la corrosión y pasa la corriente, se forma un potencial mixto  $E_{CORR}$ , el cual es un potencial estacionario. En estas condiciones la densidad de corriente es  $j_{corr}$ .

Incrementando la intensidad de corriente externa a un valor  $j'_{corr}$ , el valor del potencial disminuye a  $E'_j$  (ver el diagrama 4).

En estas condiciones la estructura está parcialmente protegida, porque la velocidad de corrosión ha sido reducido hasta un valor que corresponde a  $j'_{corr}$ .

Incrementando la intensidad de corriente externa desde  $j'_{corr}$  hasta  $j_z = j_{protección}$ , se disminuye el potencial hasta un valor  $E_A$ .

En estas condiciones, sobre la superficie de la estructura, se tiene diversas reacciones catódicas, por ejemplo:



La estructura no se corroe porque, tiene una protección catódica completa.

Podemos concluir que, la protección catódica es completa, si se obtiene una polarización en la superficie de la estructura, hasta el potencial de los ánodos sin polarización, en circuito abierto.

El potencial necesario para tener protección catódica completa se denomina Potencial de protección y la densidad de corriente necesaria para proteger la estructura completamente, se denomina densidad de protección.

Cuando explicamos los principios de protección catódica, se puede también emplear la siguiente ecuación:

$$I_{\text{corr}} = \frac{E_K - E_A}{\Sigma R} = 0$$

donde:

$E_K$  = potencial del cátodo

$E_A$  = potencial del ánodo

$\Sigma R$  = suma de todas las resistencias en el circuito.

El proceso de corrosión se frena, cuando la corriente baja a cero.

Estas condiciones se pueden obtener cuando se tiene una resistencia muy alta (como cuando se aplican excelentes recubrimientos que aíslan la estructura) o en caso de que la diferencia de potencial ( $E_K - E_A$ ) tienda a cero.

El acero empleado en estructuras sin protección catódica posee un potencial de - 500 mV. VVS electrodo de referencia Cu/ SO<sub>4</sub>Cu.s Una vez aplicada corriente externa tipo ánodo de sacrificio se crea una celda galvánica donde el acero se polariza hasta -850 mV con el mismo electrodo de referencia.

Cuando se tiene este potencial la corrosión se reduce a cero y cuando el proceso es continuo en el acero es protegido todo el tiempo.

Debido al mayor potencial del acero en concreto, los criterios para la protección catódica de estructuras de concreto reforzado son diferentes de los empleados normalmente para estructuras de acero.

Para determinar la exacta densidad de corriente y el potencial de protección catódica, es necesario hacer investigaciones en el Laboratorio del ITINTEC, con las tuberías empleadas por ESAL, así como con el agua potable.

#### 1.2 Corrosión del Concreto Reforzado

Cuando el concreto reforzado está expuesto en un ambiente agresivo, el éxito de su utilización depende en mayor grado de su durabilidad frente al ambiente que lo rodea que de sus propiedades mecánicas.

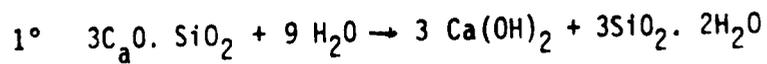
El principal producto soluble en el concreto reforzado, es el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), y la alcalinidad inicial del concreto es por lo menos la de la cal saturada en agua con un pH alrededor de 12.4, dependiendo este valor de la temperatura existente.

Además, al parecer cantidades relativamente pequeñas de óxidos y potasio en el concreto, incrementan la alcalinidad inicial de los concretos y reportándose valores de pH de 13.2 ó más.

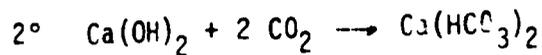
Existen dos mecanismos generales, por medio de los cuales, los medios altamente alcalinos y los consiguientes efectos pasivadores, pueden ser destruidos mediante:

- 1) Reducción de la alcalinidad, por lixiviación de la sustancia alcalina con agua, o por neutralización parcial por reacción con el dióxido de carbono u otros materiales ácidos y,
- 2) Acción electro-química que involucra iones cloruro en presencia de oxígeno.

El primer mecanismo puede ser explicado por las siguientes reacciones:

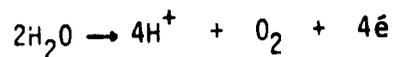


El compuesto  $3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , se encuentra en estado coloidal y no tiene propiedades mecánicas ni resistencia.



El bicarbonato de sodio es muy soluble en agua, y puede ser removido fácilmente.

Segundo Mecanismo:



La formación de iones  $\text{H}^+$  crea un medio anódico, y toma lugar una reacción de neutralización:



Los factores comunes que podrían fomentar la corrosión del acero embebido en concreto son:

1. Celdas de corrosión, debidas a condiciones químicas diferenciales.
2. Reducida alcalinidad del concreto, debido a lixiviación o carbonatación.
3. La migración de iones cloruro o sulfuro al concreto, reforzando la interferencia.
4. Inspección y control deficientes, durante la construcción.
5. Diseño inadecuado, por ejemplo, cubierta de concreto insuficiente.
6. Medios severos, que podrían llevar a un rápido deterioro del concreto.
7. Resquebrajamiento por acción del hidrógeno stress corrosión, cracking, por acción de sulfuros y compuestos nitrogenados.
8. Corrosión por corrientes vagabundas.

El acero en el concreto es polarizado anódicamente y se forma una fina capa protectora de óxido férrico tipo  $\gamma$  ( $\gamma$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sobre la superficie del acero.

Sin embargo, esta capa pasiva se destruye cuando el pH de la mezcla en equilibrio con el concreto, se reduce o cantidades suficientes de iones cloruro u otros compuestos agresivos han penetrado a la superficie del acero.

En la fig. 5 se muestra algunas propuestas presentadas por el American Concrete Institute, para la protección de estructuras estáticas de concreto reforzado.

Al aplicar la protección catódica, se debe tener cuidado a fin de evitar densidades de corriente excesivas que pueden llegar a romper el concreto.

## 2.0 METODOS DE MEDICION Y APARATOS EMPLEADOS

Para realizar las mediciones se aplicaron los siguientes métodos:

- 1) Mediciones del potencial de los alambres de las tuberías de concreto pretensado v.s. electrodo de referencia Cu/Cu SO<sub>4</sub> sat.

- 2) Pruebas de polarización catódica en una tubería de concreto pretensado de la Av. Billingurst, Distrito de San Juan de Miraflores.
- 3) Pruebas de detección de corrientes vagabundas en terreno donde están ubicadas las tuberías.
- 4) Examen microscópico de los productos de la corrosión en los aceros de una tubería de concreto pretensado de la Av. Billingurst, Distrito de San Juan de Miraflores.

#### INSTRUMENTOS

- 1) El instrumento con el que se efectuaron las mediciones de potencial e intensidad de corriente fué de fabricación polaca, marca MERATRONIK V-639 resistencia interna  $10^5$  -  $\Omega/V$ .
- 2) Microscópio de 32 aumentos.
- 3) Dos electrodos de Titanio Platinado.
- 4) Fuente de f.e.m. de 1.5v.
- 5) Electrodos de referencia Cu/sat.  $CuSO_4$ .

#### 3.0 RESULTADOS OBTENIDOS

Con la finalidad de realizar las inspecciones de la tubería de distribución de agua en el distrito de San Juan de Miraflores se solicitó a ESAL que pusiera al descubierto los puntos en los que a su criterio presentaban mayor humedad. Es así como se realizan las inspecciones en 3 zonas diferentes: El Vivero, Cerro San Juan y la Av. Billingurst.

En el vivero se puso al descubierto una tubería, la cual no presentó signos externos de corrosión. La tubería tiene 6 años de uso y se encuentra en terreno poco húmedo.

En la zona del Cerro San Juan se hicieron observaciones en 4 puntos diferentes, no encontrándose en ningún punto signos exteriores de corrosión. La tubería está situada en un terreno bastante seco.

En la Av. Billinghurst la tubería descubierta si presentaba signos externos de corrosión en el borde de la campana de uno de los tubos. Los productos de la corrosión abarcaban casi toda la circunferencia de la campana y los alambres descubier

tos mostraban un franco proceso de corrosión. El potencial medido en dicha tubería fué de -500 mV v.s. el electrodo de referencia Cu/CuSO<sub>4</sub> saturado. Las pruebas de Polarización catódica de esta tubería indicó la factibilidad de su protección.

Posteriormente ESAL comunicó la rotura de una tubería de la línea de San Juan de Miraflores realizándose una inspección de la misma. Debe recalcarse que esta tubería fué inspeccionada después de haberla seccionado justamente en el punto de falla, razón por la cual no se puede precisar una razón de falla de dicha tubería, sin embargo debe indicarse las siguientes observaciones:

- En una zona próxima al punto de falla (0.30 m.) los alambres de refuerzo si mostraban un proceso típico de corrosión y algunos alambres se encontraban rotos. En el mismo punto de falla los alambres estaban poco corroídos y en el resto de la tubería, los alambres descubiertos no presentaban ningún proceso de corrosión.-La pared de la tubería mostraba una estructura con 3 zonas diferentes siendo la zona exterior (mortero o concreto de recubrimiento) de una resistencia e impermeabilidad menor que las otras.
- Es posible que se encuentren fisuras en las tuberías y filtrarse agua al aumentarse la presión interna del tupo, provocando la corrosión de los alambres.

4.0

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Un acero que se encuentre catódicamente protegido contra la corrosión debe tener una medida de potencial con respecto al electrodo de Cu/CuSO<sub>4</sub> saturado menor que -850 mV, por tanto un valor más positivo que -850 es índice de tener un acero desprotegido.

Una prueba de polarización indica la cantidad de corriente necesaria para lograr la protección catódica de un acero.

Los resultados de las mediciones efectuadas en la línea de abastecimiento de agua de San Juan de Miraflores muestran que es posible efectuar una protección catódica empleando ánodos de magnesio, pero para una determinación exacta de los requerimientos es necesario la instalación de puntos de control en zonas que presenten mucha humedad ó se sospeche de un proceso de corrosión de los alambres de refuerzo.

Después de las inspecciones realizadas podemos decir que tubería instalada a lo largo de la Av. Billinghurst está en condiciones que propician un proceso de corrosión, como son: el alto contenido de sulfatos del terreno, su posición más baja entre el cerro San Juan y el Reservorio Villa María del Triunfo, que permite la

acumulación de agua que puede provenir de riego de jardines o limpieza de calles, y presiones hidráulicas superiores a los de trabajo especificado para los tubos. Estos factores acelerarían los puntos de corrosión que se pueden deducir se inician en esta zona a partir de una fisura, debido a golpe durante la instalación o presión hidráulica excesiva.

Por lo anteriormente expuesto se recomienda que ESAL instale 3 puntos de control para poder seguir adelante con el estudio de protección catódica requerida por ESAL.

La instalación de estas cajas de control debe hacerse según el diagrama adjunto (figura 6). Con la finalidad de disminuir el proceso de corrosión de alambres provocado por fisuras, se propone aplicar inhibidores tipo silicatos.

Asimismo se recomienda que el ITINTEC proponga a ESAL la ejecución de un proyecto de investigación el cual formaría parte del programa de investigación que se viene formulando en el campo de la corrosión, este proyecto estudiará todos los problemas de corrosión de tuberías de concreto pretensado en las condiciones ambientales que actualmente trabajan. Para esta finalidad se están efectuando los trámites correspondientes para la adquisición de equipos e instrumentos indispensables para la ejecución del proyecto anteriormente citado.

ANEXO

De acuerdo a las normas A.S.T.M. CI 150-71 (requerimientos para los ocho tipos de cemento portland), si el concreto va estar expuesto a suelos con altas concentraciones de sulfatos; se debería emplear los cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico, como por ejemplo los tipos II y V.

Puesto que, el concreto contiene del 60 al 80% de agregados, la selección de estos es muy importante, pero a veces es pasado por alto.

Para obtener un concreto de buena calidad, los agregados deben ser finos, limpios, fuertes y, resistentes a los cambios físicos o químicos, como el resquebrajamiento, dilataciones, ablandamiento y lixiviación.

# PROTECCION CATODICA CONTRA LA CORROSION

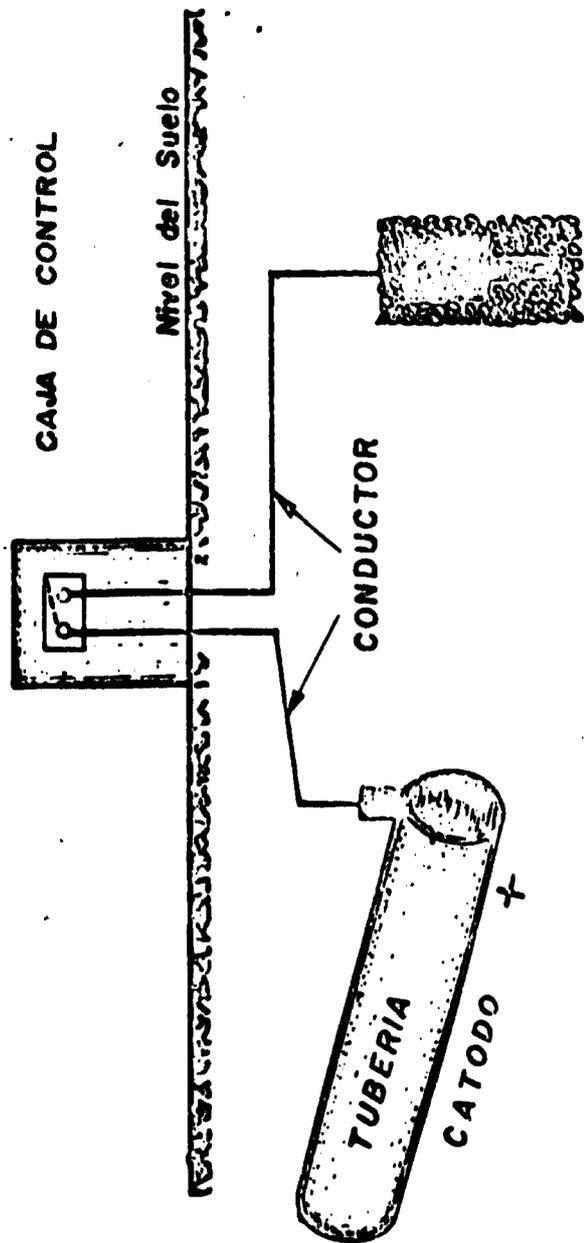


Fig.1 ANODO DE SACRIFICIO

159

# PROTECCION CATODICA DE TUBERIAS SUBTERRANEAS Método : Corriente Impresa

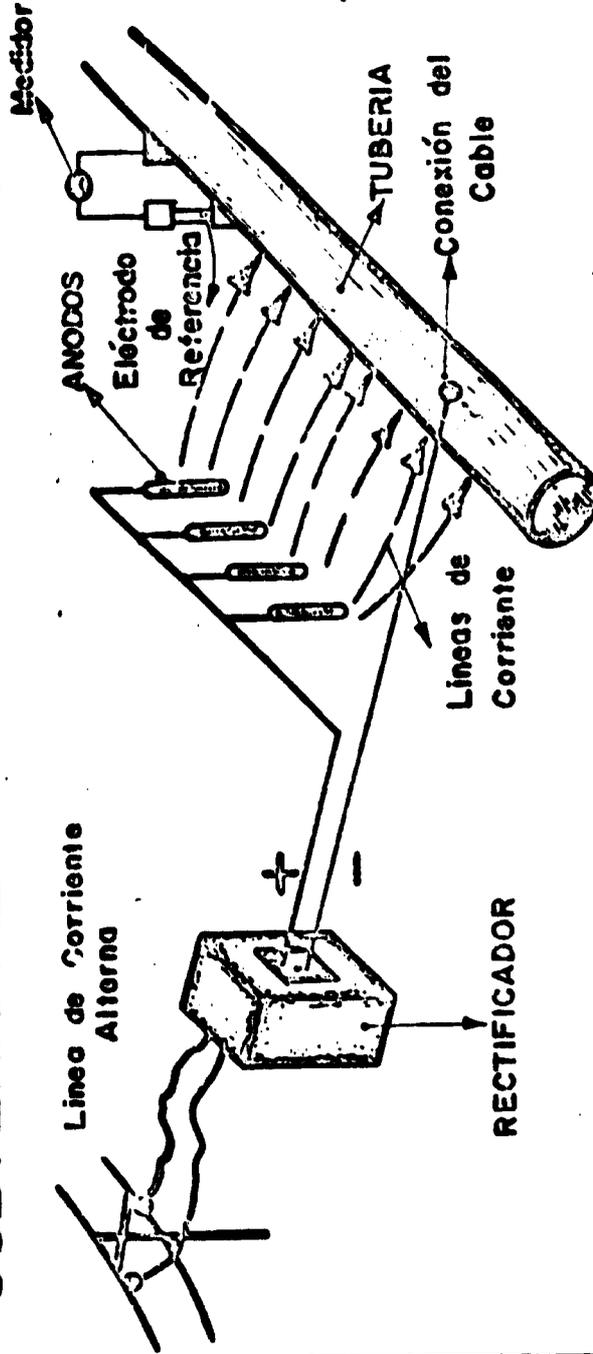


FIG. 2

# DIAGRAMAS DE POLARIZACION DE METALES

FIG. 3

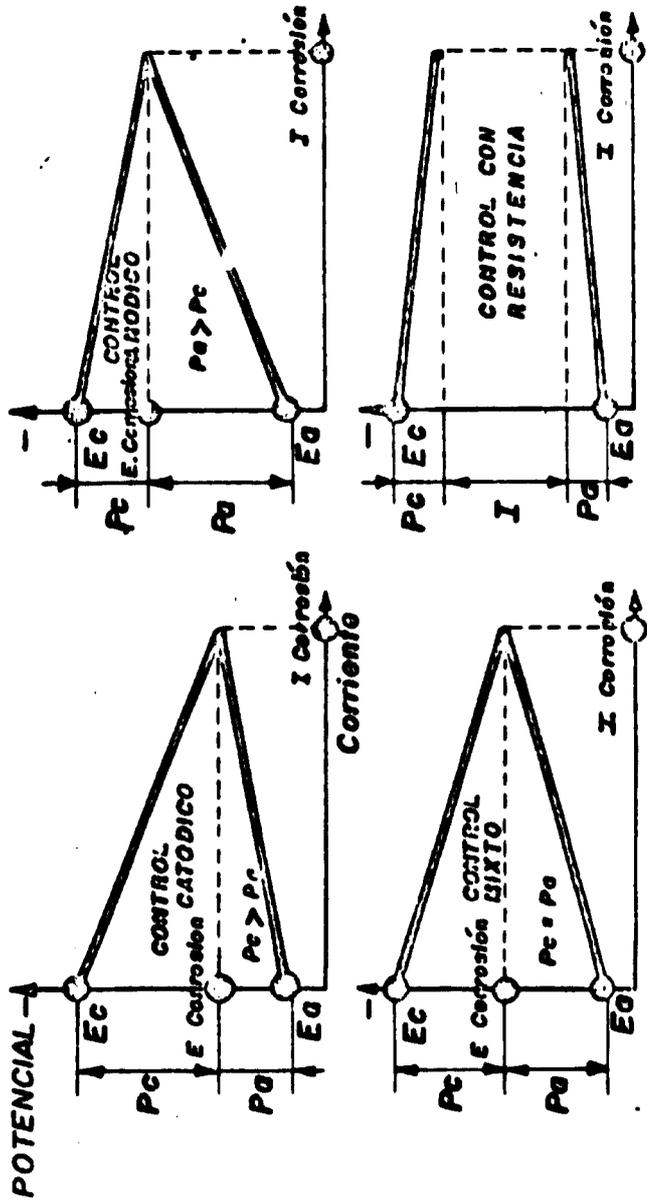


DIAGRAMA QUE MUESTRA  
LOS PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN  
CATODICA

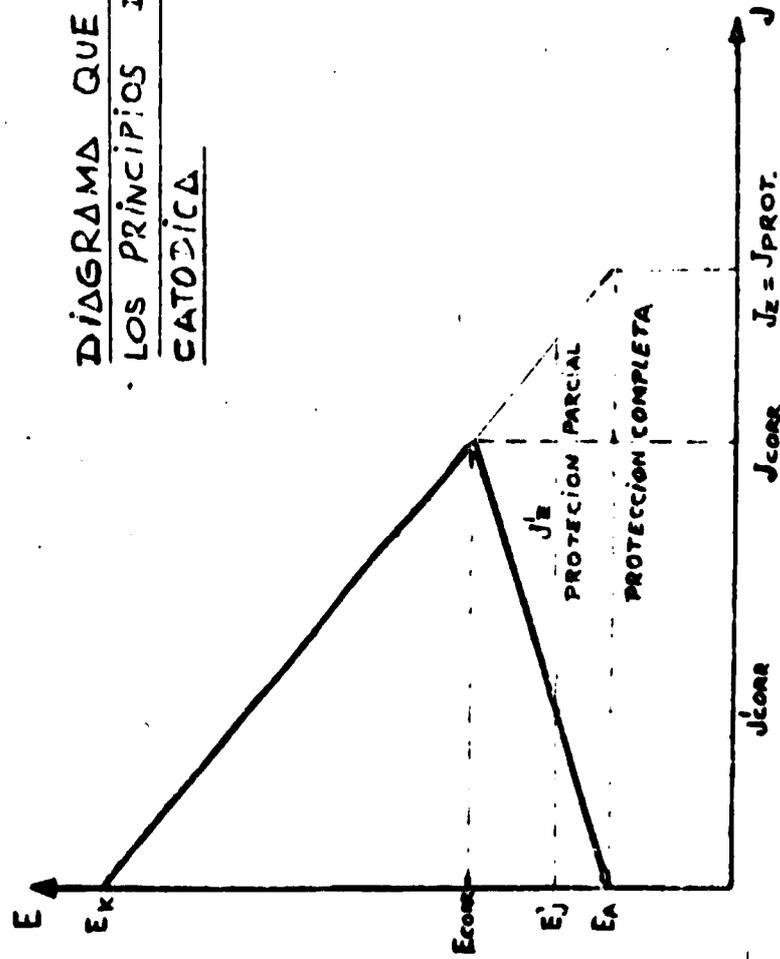


FIG. 4

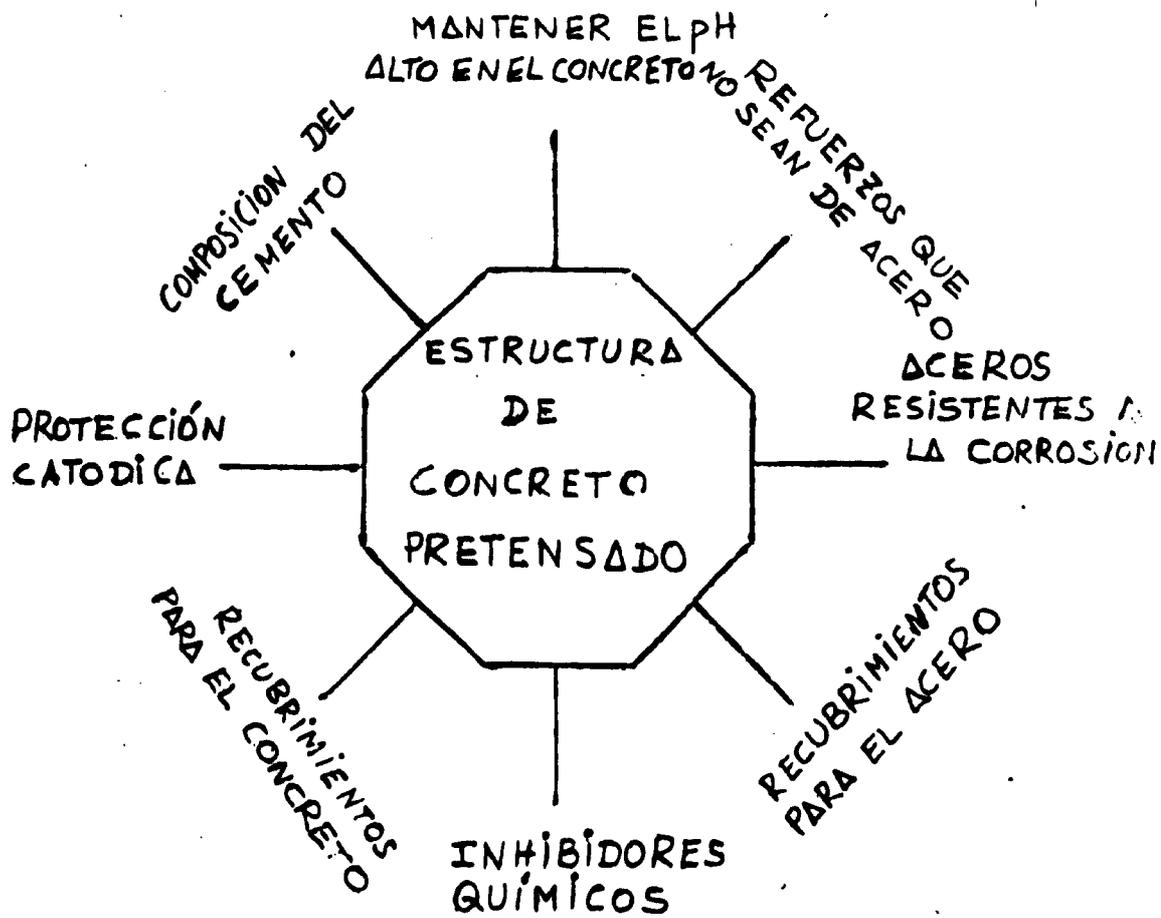


FIG. 5 PROTECCION CONTRA LA CORROSION EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO PRETENSADO.

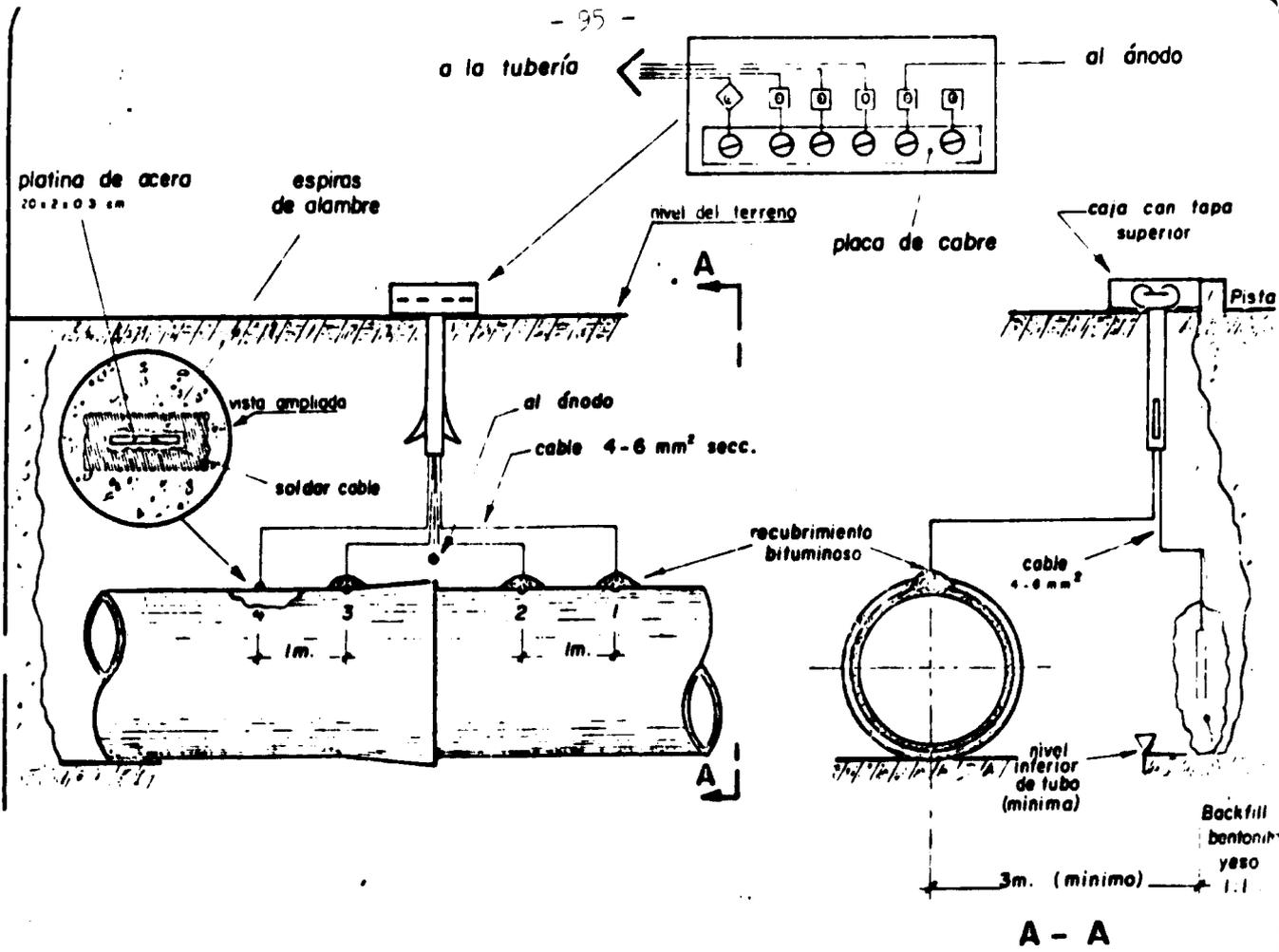


FIG. 6 PROTECCION CATODICA DE TUBERIAS DE CONCRETO PRETENSADO.

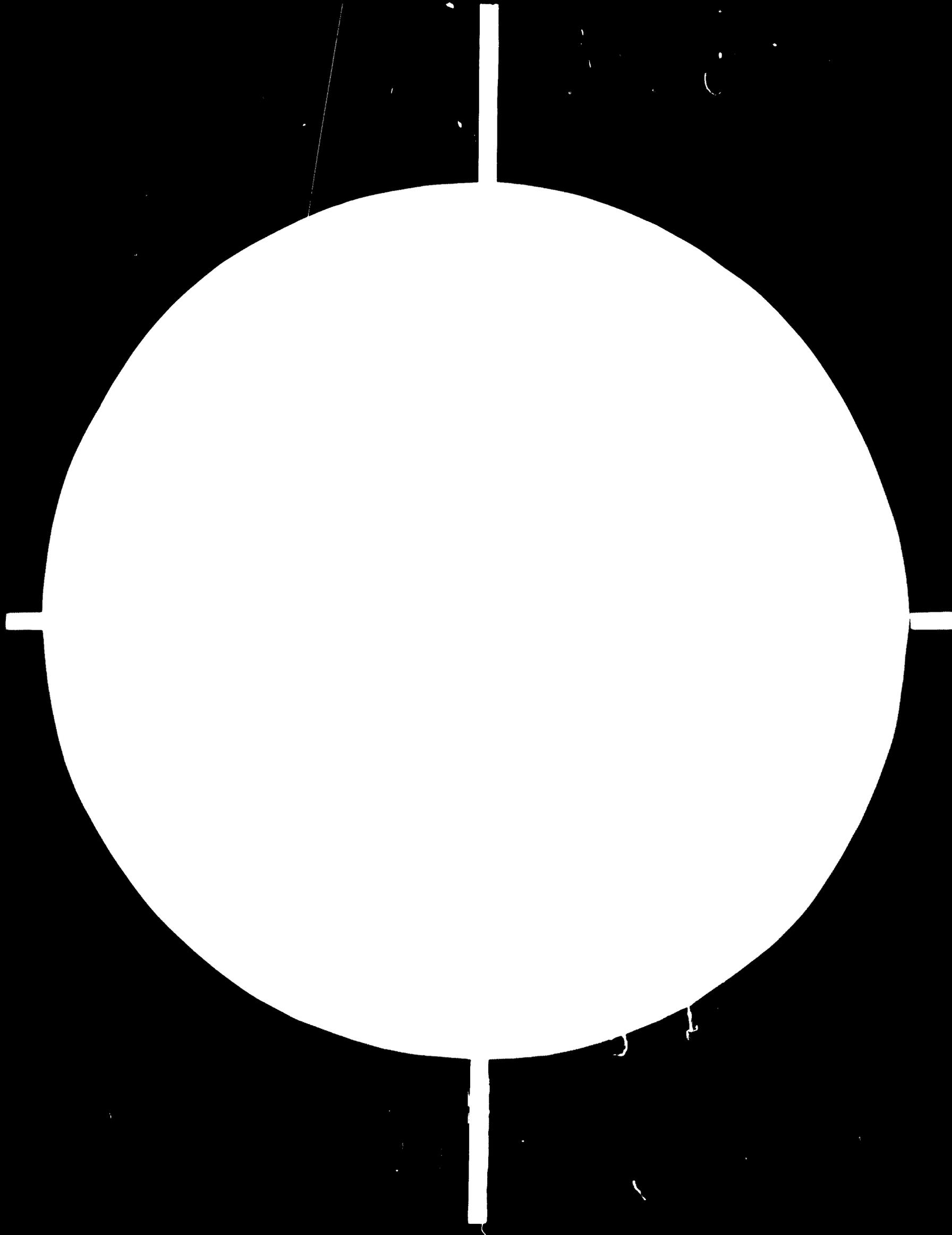
INDICACIONES

1. Poner al descubierto las espiras de refuerzo en los puntos 1, 2, 3 y 4. Limpiar los alambres y soldar sobre ellos una platina de acero de 20 x 2 x 0.3 cm., asegurándose de obtener buen contacto y un cordón de soldadura uniforme, sin poros y lo suficientemente fuerte.
2. Aplicar recubrimiento bituminoso sobre las áreas de conexión, verificar si es impermeable, con buena adhesión a la superficie y que cubra toda el área picada.
3. Cuidar que el cable de las conexiones se encuentre en buenas condiciones (tanto alambre como aislamiento). Mejor si se usa cables apropiados para instalaciones subterráneas.
4. Chequear el estado de los ánodos ( no deben estar rotos o rajados). La conexión ánodo-cable debe quedar bien aislada.
5. Los ánodos se instalarán en sacos que contengan Backfill (mezcla de bentonita con yeso para disminuir la resistividad ánodo-terreno). De existir humedad a un nivel más bajo que el de la tubería, prefierete instalarlo a dicho nivel.
6. El Backfill deberá ser saturado con agua antes de ser enterrado. El terreno deberá ser bien apisonado y humedecido.
7. Numerar si es posible las conexiones, en las cajas de control, correspondientes a cada uno de los puntos de control en la tubería. La conexión al ánodo deberá pintarse de color rojo.

**C-34**



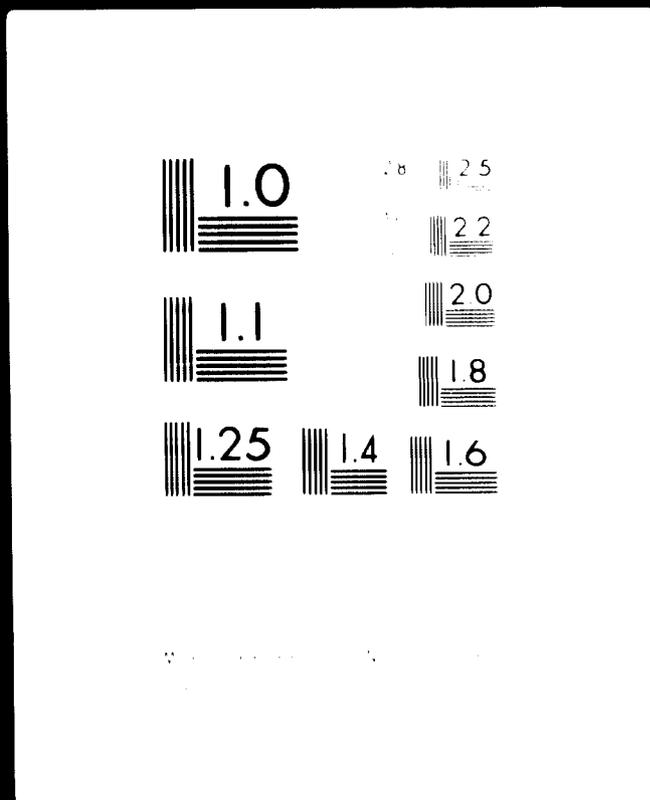
**79.11.30**



**2 OF 2**

**08442**

**S**



**24x  
C**

Apéndice 5

PLAN DE TRABAJO PARA ESAL EN TUBERIAS  
DE DISTRIBUCION DE AGUA

Plan de trabajo

A fin de poder llevar a cabo al asesoramiento técnico solicitado por la Empresa de Saneamiento de Lima para resolver los tres problemas relacionados con la protección de tuberías contra la corrosión, será necesario llevar a cabo el siguiente plan de acciones.

1) Estudio del terreno en las siguientes zonas:

- Entre la Plante de Tratamiento "Gustavo Laurie Solis" y el Distrito del Rimac.
- Entre la carretera Circunvalación y el Distrito de Surquillo a lo largo de la Av. Primavera.
- En la zona de Villa El Salvador a lo largo de la tubería de 24" Ø, en este lugar instalada.
- En la zona de San Juan de Miraflores a lo largo de la línea de tuberías de 20" Ø.

Dentro de este estudio se harán las siguientes investigaciones (en la superficie del terreno y a 50 cm. de profundidad):

- I) Mediciones de la resistividad específica del terreno.
- II) Mediciones del potencial Redox del terreno.
- III) Mediciones del potencial estacionario del acero de refuerzo (a circuito abierto).
- IV) Determinación del pH del terreno.
- V) Análisis químicos tales como:

- Porcentaje de agua.
- Porcentaje de nitratos.
- Porcentaje de cloruros.
- Porcentaje de sulfatos.

VI) Evaluación de los resultados para determinar la agresividad del terreno.

2) Estudios de Laboratorio para determinar los factores que ocasionan la corrosión y la aplicación de protección catódica en:

a) Tuberías de concreto pretensado sin recubrimiento.

b) Tuberías de concreto pretensado con recubrimiento.  
Estos estudios se realizarán en las condiciones más agresivas (para las tuberías) encontradas en los estudios de los terrenos anteriormente mencionados.

3) Estudios de la literatura sobre tuberías empleadas para sistemas de agua potable y métodos de protección contra la corrosión.

- 4) Estudio de la literatura sobre los principios de las roturas en tuberías de concreto pretensado y métodos de protección.
- 5) Estudio de laboratorio de las roturas en tuberías de concreto pretensado.

Para llevar a cabo estas acciones será necesario lo siguiente:

- Cada 500 m. de distancia, obtener muestras de terreno (de la superficie y a 50 cm. de profundidad).
- Poner al descubierto tramos de tubería a lo largo de las líneas de distribución de la zona de San Juan de Miraflores y Villa el Salvador (cada 500 m.). En zonas donde se encuentre tuberías con signos de corrosión, se efectuarán un mayor número de excavaciones.
- Preparar muestras de tuberías de concreto para los estudios de laboratorio.
- ESAL ofrecerá un Ingeniero para la coordinación de los trabajos, así como 2 obreros y el transporte necesario.
- Para este estudio será necesario utilizar los equipos que se mencionan en el Anexo 2.

Lista de equipos

- Ionómetro modelo 407 A/F - Orion
- Electrodo de referencia de unión doble 90-02-Orion
- Electrodo de pH 91-02-ORION
- Electrodo de cobre 94-17-ORION
- Electrodo de plomo 94-82-ORION
- Electrodo de nitrato 93-07-ORION
- Electrodo redox 96-78-ORION

Apéndice 6

INFORME SOBRE LOS PRINCIPIOS DE CORROSION Y PROTECCION DE LOS TUBOS DE ACERO INOXIDABLE 316 L DEL CONDENSADOR DE LA TUBERIA DE VAPOF DE LA CENTRAL ELECTRICA DE FERTISA

LUEGO DE VARIAS VISITAS EFECTUADAS POR EL DR. ROMUALD JUCHNIEWICZ, EXPERTO ONUDI, Y PROFESIONALES DE LA DIRECCION DE TECNOLOGIA A LA PLANTA DE FERTILIZANTES SINTETICOS S.A. UBICADA EN EL CALLAO, SE HA EVALUADO LO SIGUIENTE:

- Los tubos de acero inoxidable 316L (no se ha investigado sobre la composición de este acero) del condensador de la turbina de vapor de la Central Eléctrica de FERTISA han sufrido por tercera vez corrosión interna en su contacto con el agua de mar contaminada con agua de desagües y aceite de pescado que se encuentran alrededor de la planta.
  - FERTISA presentó 8 tubos de acero inoxidable 316L cortados longitudinalmente. Se investigó estos tubos con un microscopio de 32 aumentos. Se observó lo siguiente:
    - Las tuberías nuevas no presentaron corrosión en su superficie interna. Se observó pequeñas fisuras longitudinales que, probablemente, se deban al proceso de fabricación de las tuberías. La superficie estaba limpia y sin ningún depósito.
    - Las tuberías de acero inoxidable 316L usadas (no fue informado el tiempo de uso de estas tuberías) presentaban un depósito color ocre en su superficie interna.
  - En algunas partes de las tuberías se observó, burbujas del producto de la corrosión, cuando se retiró estas se observó picaduras que se manifiestan a lo largo de las fisuras. Esta morfología es típica de la corrosión por agrietamiento (crevice corrosión) y por picaduras (pitting corrosion).
- Existen algunos puntos donde las picaduras microscópicas atraviesan la tubería.

Las fisuras están cubiertas por depósitos y en estos se detectó la presencia de iones  $Fe^{3+}$

Los depósitos se disuelven fácilmente tanto en ácido nítrico como en ácido clorhídrico en frío.

- El agua de mar que pasa a través del condensador se bombea desde el mar.

En la visita al muelle donde se encuentran las bombas se observó que el agua de mar es muy sucia y contiene basura en suspensión, papeles, plásticos, grasa, etc.

- La tubería que transporta el agua presenta varios boquetes por donde escapa el agua.

Los filtros que eliminan las partículas grandes, presentan corrosión y la superficie de la malla de acero inoxidable tiene un depósito color ocre.

El agua de mar está clorada, y presenta contaminación de  $Fe^{3+}$ .

### CONCLUSIONES

De acuerdo a la bibliografía revisada el acero inoxidable no se aplica para tuberías que transportan agua de mar, porque luego de pocos meses son atacadas por la corrosión por picadura. De todos los aceros inoxidables las aleaciones 316L son las más resistentes. Sin embargo, luego de 1 a 2 años y medio, también son atacadas por la corrosión por picadura y por agrietamiento.

Se conoce también que el acero inoxidable es atacado rápidamente cuando el agua de mar tiene despolarizadores tales como  $Fe^{3+}$ ,  $Hg^{2+}$  (se sabe que el agua de mar en el Callao contiene  $Fe^{3+}$ ).

Las picaduras se desarrollan más rápido cuando la superficie está cubierta por depósitos inorgánicos u orgánicos y por organismos marinos biológicos que ensucian las tuberías.

(Se ha observado la presencia de estos organismos en las tuberías de FERTISA).

**¿COMO PROTEGER EL ACERO INOXIDABLE?**

Para disminuir la corrosión en el acero inoxidable se aplica:

1. Protección catódica.
2. Inhibidores a ciertas concentraciones.
3. Incrementar el pH del agua de mar (hacerlo más alcalino).
4. Eliminar los despolarizadores del proceso de corrosión.
5. Limpieza periódica de la superficie interna de las tuberías.
6. Disminuir la concentración de los oxidantes en el agua de mar.
7. Bajas la temperatura del agua de mar.

PARA DECIDIR CUAL DE LOS METODOS DE PROTECCION ES EL MAS CONVENIENTE EN EL CASO DE FERTISA SE CONSIDERA NECESARIO REALIZAR - LO SIGUIENTE:

- 1) Determinación cuantitativa y cualitativa de  $Fe^{3+}$ ,  $Hg^{2+}$  y  $Cu^{2+}$  en los diferentes puntos por los que pasa el agua de mar. (Estos puntos fueron indicados anteriormente a la empresa).
- 2) Chequear el sistema de protección catódica instalado actualmente en el condensador.  
  
Considerar la posibilidad de instalar protección catódica en los dos filtros y otros puntos del sistema.
- 3) Seleccionar un inhibidor y buscar la óptima concentración en que debe ser usado.
- 4) Efectuar mediciones de potencia, en agua de mar, tanto de tuberías nuevas como usadas, con un electrodo de referencia de Calomel.
- 5) Determinar si el inhibidor seleccionado tiene la capacidad de efectuar un cambio en el potencial de la tubería usada, de modo que éste se acerque al potencial de una tubería nueva.
- 6) Detectar cómo los factores de corrosión (pH-agua, grasa, basura, plásticos,  $Fe^{+++}$ ,  $Cu^{++}$ ,  $Hg^{++}$ , etc.) y los factores de protección (inhibidores, protección catódica, pasivación de superficie) afectaron el potencial de la tubería.  
  
Para obtener más amplia información es necesario efectuar investigaciones potencioestáticas.
- 7) Preparar información de los métodos prácticos para efectuar la limpieza del agua de mar.
- 8) Detectar si existe la posibilidad de formar complejos con el  $Fe^{3+}$ .
- 9) Preparar una mezcla que limpie la superficie interna de los tubos y a la vez los pasive.
- 10) Considerar el cambio, del sistema actual de enfriamiento por el de un circuito cerrado de agua dulce e inhibidores.

Apéndice 7

CONFERENCIA SOBRE  
LA PROTECCION CATODICA COMO MEDIO DE COMBATIR LA CORROSION

1. INTRODUCCION

Mediante las ciencias y técnicas actuales se tiene el conocimiento suficiente para combatir la corrosión y disminuir las pérdidas económicas ocasionadas por ésta.

La aplicación de estos conocimientos encuentra grandes dificultades, no sólo en países en vías de desarrollo sino también en países desarrollados. El profesor T.P. Hoar de la Universidad de Cambridge, en 1971, presentó un informe a nivel del Gobierno Británico, sobre las pérdidas estimadas debido a problemas de corrosión. En este informe, se revela que las pérdidas por corrosión en la Gran Bretaña son de 1 350 millones de Libras Esterlinas al año. También se informa que de aplicarse el conocimiento técnico existente en el campo de la corrosión, se puede disminuir las pérdidas económicas en un 35%, esto significa que, se puede ahorrar más de 350 millones de Libras Esterlinas simplemente aplicando la tecnología existente. Surge entonces, la siguiente pregunta: ¿Por qué no se aplica en la industria el conocimiento existente en este campo? La respuesta es, que la gran cantidad de ingenieros encargados de proyectar y diseñar equipos y procesos no poseen el conocimiento suficiente para combatir la corrosión.

Se dispone de pocos libros y revistas que faciliten la enseñanza y, los libros existentes son insuficientes o muy complicados para ser utilizados por cualquier ingeniero.

En el Perú este problema es muy agudo y se conoce que se importa diariamente un equivalente a U. S. \$ 230 000 en acero. Estas cifras y otros hechos, nos hacen pensar en la necesidad urgente de desarrollar la tecnología adecuada de protección contra la corrosión. ¿Cómo va a ser posible proteger bien el acero contra la corrosión, en un país donde no se hace investigaciones, no se da enseñanza, ni se dispone de especialistas en este campo? Sabemos por informaciones publicadas en los Estados Unidos de Norteamérica que, los costos anuales de las inundaciones, incendios, huracanes y terremotos en conjunto son menores que los costos anuales ocasionados por la corrosión. Ver tabla N° 1, por esto es necesario que además de la existencia de organizaciones especializadas en combatir incendios, inundaciones, etc., exista una organización especializada en combatir la corrosión. Personalmente pienso que existe una falta de conocimiento de los peligros de la corrosión y también se desconoce que existen nuevas tecnologías que la pueden prevenir y disminuir.

## 2. ECONOMIA DE LA CORROSION

El control de la corrosión es, básicamente un problema de economía. El trabajo de los ingenieros de corrosión no solo es, elegir el material de construcción o recubrimiento más resistente a la corrosión, sino diseñar, construir, operar y mantener las plantas y estructuras a fin de minimizar sus costos.

Básicamente la corrosión hace elevar los costos en las industrias de 4 formas: (Ver Tabla N° 2).

- (1) Incremento de los costos de capital (plantas más costosas)
- (2) Incremento de los costos de operación.
- (3) Incremento de los costos de mantenimiento.
- (4) Incremento de los gastos generales.

Los costos de capital se incrementan en los siguientes aspectos:

- Equipos más costosos.
- Sobredimensionamiento de las instalaciones.
- Mayor stock en el almacén.
- Equipos para la Prevención de la Corrosión.

Los costos de operación se incrementan como resultado de la corrosión, en los siguientes aspectos:

- Ineficiencia en la Producción.
- Ineficiencia por las condiciones de operación en el Equipo.
- Pérdidas del Producto que se procesa.
- Medidas efectuadas para la Prevención de la Corrosión.

Incremento en los costos de mantenimiento:

- Reparaciones y Reemplazo de Equipo Corroído.

Incremento de los Gastos Generales.

- a) Por razones de seguridad.
- b) En los costos de administración.
- c) Investigaciones en Corrosión.

### 3. CORROSION Y PROTECCION CATODICA

La corrosión es un proceso electroquímico que se manifiesta en diferentes formas como; corrosión general, por picadura, inter-cristalina, galvánica, corrosión-erosión, por esfuerzos, por agrietamiento, y otros. En la Tabla N° 3 se presenta datos de la Empresa Du-Pont, en los cuales se analiza el porcentaje de cada forma de corrosión en base a 313 casos de fallas por corrosión en equipos industriales. A partir de estos resultados, se puede concluir que, solamente el 31.6% de toda la corrosión (el que corresponde a la corrosión general) se puede disminuir aplicando recubrimientos. Pienso que estos datos explican por qué la industria química tiene malos resultados al combatir la corrosión.

Para disminuir el porcentaje de corrosión restante (68.4%) es necesario aplicar otros métodos y tecnologías como la protección catódica. Toda estructura metálica que se corroe en el suelo o en el agua de mar tiene un potencial, el cual se puede medir en la práctica. Para medir el potencial de la estructura metálica (por ejemplo tuberías subterráneas, barros, tanques) que es atacada por la corrosión, se debe crear una celda:

estructura / ambiente / electrodo de referencia

Con la ayuda de instrumentos medidores de potencial (de alta resistencia interna:  $10^5 \Omega/V$ ), se puede efectuar las mediciones. Para cada caso particular existen diversos métodos de medición.

### 3.1 ¿Cómo trabaja el Sistema de Protección Catódica?

El acero empleado en estructuras, equipos u otros sin protección catódica, posee un potencial de -500 a -600 mV. v.s. el electrodo de referencia Cu/sat  $\text{CuSO}_4$ . Una vez que se aplica corriente externa, se crea una celda galvánica donde el acero se polariza con un potencial menor de -850 mV. v.s. el mismo electrodo de referencia. Cuando se tiene este potencial, la corrosión se reduce a cero y si el proceso es continuo el acero estará protegido todo el tiempo.

Se conocen dos tipos de protección catódica:

- 1) Anodos de sacrificio
- 2) Corriente impresa

En las figuras 1 y 2 se observa los dos sistemas.

La Protección Catódica se puede aplicar en aquellos mecanismos de corrosión controlados catódicamente con control mixto y, con control de la resistencia. No se aplica la protección catódica en los mecanismos de corrosión con control anódico (Ver Fig. N° 3).

### 4. SISTEMA DE ANODOS DE SACRIFICIO

En la Tabla N° 4 se muestra algunos datos importantes para ánodos de sacrificio.

Las aleaciones que se usan para ánodos de sacrificio siempre tienen como base magnesio, zinc o aluminio.

El trabajo de estos ánodos depende de las composiciones y condiciones de operación, tales como temperatura, conductividad, densidad de corriente, etc.

#### 4.1 Aleaciones de Magnesio

Generalmente las aleaciones de magnesio tienen 6% Al, 3% Zinc y más del 0.15% de Mn, para combatir los malos efectos de las impurezas.

El ánodo de magnesio tiene un potencial muy negativo (-1.55v) y destruye las pinturas de las estructuras metálicas, por ello es necesario aplicarlo bajo ciertas condiciones. Asimismo existe la posibilidad de que el rompimiento de los ánodos debido al impacto con las estructuras metálicas que trabajan con combustibles, produzcan explosiones.

#### 4.2 Aluminio

Los ánodos de aluminio siempre tienen de 3 - 7 % de zinc. Su eficiencia depende de la pureza del aluminio que se aplica. Es conocido que las impurezas son muy perjudiciales al fierro.

Las aleaciones con zinc y estaño también se aplican. Una composición típica es de 5% zinc y 0.08% Sn y Aluminio de una pureza de 99.8%.

Asimismo el aluminio tiene tendencia para producir hidrógeno, por ello es necesario recordar que pueden ocasionar explosiones.

#### 4.3 Zinc

Los ánodos obtenidos por fundición de zinc de alta pureza siempre tienen no más de 0.0015% de Fe para una mejor eficiencia.

Existen también aleaciones con 0.5% Al, con 0.1% como máximo de silicio o cadmio. Los ánodos de zinc generalmente se aplican para agua de mar, debido a que tiene un potencial un poco más negativo que el hierro y no ocasionan problemas con pinturas ni explosiones.

Para el cálculo de resistencias de los ánodos cilíndricos en un electrolito (agua de mar, suelos, etc.) se aplica la siguiente fórmula:

$$R = \rho \frac{0.0627}{L} \left( \ln \frac{4L}{r} - 1 \right) \quad (5)$$

donde:

- R = Resistencia del ánodo en el electrolito (ohms)
- $\rho$  = Resistividad específica de electrolito (ohm-cm)
- L = Longitud del ánodo (pulg.)
- r = Radio de ánodo (pulg.)

Para determinar la intensidad de corriente que pasa por el ánodo se aplica la Ley de Ohm.

$$I = \frac{E}{R} \quad (6)$$

donde E:

- Para los ánodos de magnesio = 0.85 - 1.20 v

- Para los ánodos de aluminio = 0.35 - 0.65 v

- Para los ánodos de zinc = 0.35 - 0.55 v

Para determinar la velocidad de consumo del ánodo en el agua de mar se aplican las siguientes fórmulas:

Para ánodos de zinc:

$$T_{\text{años}} = 0.08 \frac{\text{Peso (kg.)}}{\text{Intensidad de corriente (amp.)}} \quad (7)$$

Para ánodos de aluminio:

$$T_{\text{años}} = 0.28 \frac{\text{Peso (kg.)}}{\text{Intensidad de corriente (amp.)}} \quad (8)$$

Para ánodos de magnesio:

$$T_{\text{años}} = 0.12 \frac{\text{Peso (kg.)}}{\text{Intensidad de corriente (amp.)}} \quad (9)$$

Para determinar la distribución de potencial en tuberías se aplica la siguiente fórmula:

$$L = \frac{1}{2} \ln \frac{\Delta E \text{ máx.}}{\Delta E \text{ mín.}} \quad (10)$$

donde:

L = Longitud a protegerse

C = Coeficiente de distribución

$\Delta E \text{ máx}$  = Diferencia de potencial entre tuberías no protegidas y protegidas en el punto de drenaje.

$\Delta E_{mfn}$  = Diferencia de potencial entre tuberías no protegidas y protegidas en el punto donde el potencial es mínimo.

En la Figura N° 4 mostramos la distribución de potencial para tuberías protegidas con ánodos de zinc en agua de mar, ánodos de magnesio en suelos y corriente impresa en suelos. Tal como se observa, con corriente impresa las zonas protegidas son mayores que usando protectores.

En la Figura N° 5 mostramos que las zonas protegidas dependen del aislamiento. Las tuberías subterráneas con buen aislamiento tienen zonas de protección mayores que las que poseen un aislamiento inadecuado.

## 5. CORRIENTE IMPRESA

En este sistema se emplea corriente continua obtenida de una fuente de corriente alterna.

La corriente que pasa a la estructura la polariza para obtener un potencial de protección de  $-0.85v$  para el acero v.s. Cu/sat  $CuSO_4$  como electrodo de referencia.

### 5.1 Materiales de Anodo

Una característica muy importante del ánodo corresponde a su velocidad de consumo. En la tabla N° 5 presentamos algunos

datos para ánodos de corriente impresa. Se puede observar que los ánodos modernos cuya aleación es de plomo-plata o titanio platinado operan con una gran densidad de corriente. La duración del ánodo de titanio-platinado depende de la magnitud y frecuencia de las oscilaciones en la corriente continua obtenida del rectificador de corriente alterna. Oscilaciones menores de 100 Hertz son perjudiciales pues atacan el ánodo de titanio-platinado.

La localización del ánodo en la estructura necesita un cuidado especial, esto es porque una localización muy cerca de la estructura da una sobreprotección con destrucción del recubrimiento e insuficiente distribución de la corriente.

En la figura N° 6 se presenta un sistema de protección catódica en tuberías subterráneas.

En una tubería con una diferencia de potencial de -0.95 voltios (v.s. electrodo de referencia Cu/sat  $\text{CuSO}_4$ ) se tiene la posibilidad de controlar el proceso de corrosión.

## 5.2 Aplicación de Corriente Impresa en la Industria

Por la práctica se conoce que, para esta protección es necesaria una densidad de corriente de 0.005 mili  $\text{A}/\text{m}^2$  hasta 50 mili  $\text{A}/\text{m}^2$  (ver tabla N° 6). La corriente se genera en una estación de protección catódica como la que se presenta en

la figura N° 7. El ánodo de plomo con 2% de plata se presenta en la figura N° 8. La velocidad de consumo de este ánodo se da en la Tabla N° 5.

## 6. RECUBRIMIENTOS Y PROTECCION CATODICA

Para la protección catódica se emplean recubrimientos orgánicos resistentes a los álcalis.

Sobre la superficie protegida catódicamente se da una reacción electroquímica y, el pH en la superficie puede cambiar hasta 13 ó 14.



Los recubrimientos no resistentes a los álcalis pueden hidrolizarse y formar ampollas. Dentro de éstas, existe una solución de hidróxido de sodio con un pH de 13 a 14.

Un buen recubrimiento ayuda a la protección catódica disminuyendo la densidad de corriente necesaria para alcanzar el nivel de protección.

Para evaluar los resultados de la aplicación de protección catódica, siempre se debe tener en cuenta un error debido a la caída de potencial.

Los recubrimientos metálicos del tipo Al, Zn y Cd, depositados sobre el hierro, pueden polarizarlo catódicamente hasta un potencial

de -850 mV v.s. el electrodo de  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  Sat, con lo que se logra la protección catódica. También se emplean polvos de estos metales en la producción de pinturas con pigmentos metálicos, para efectuar protección catódica, asimismo con la ayuda de inhibidores, es posible cambiar el potencial de los recubrimientos.

Es necesario tener en cuenta que el costo de la protección catódica es casi igual a otros métodos que ofrecen seguridad en la protección.

## 7. RECOMENDACIONES

Considerando, que las nuevas tecnologías de protección catódica están ganando cada vez más aceptación. Se recomienda:

- La creación de un Centro de Corrosión y Protección Catódica en el ITINTEC a fin de desarrollar las aplicaciones de la Protección Catódica y crear un comité de coordinación para establecer cooperación entre las diferentes industrias.
- Que la Universidad Peruana imparta una enseñanza adecuada a fin de que los ingenieros conozcan y apliquen la protección catódica.
- Se continúe con la cooperación técnica hacia las empresas como PETROPERU, ESAL, FERTISA, SIMA, ENAPUPERU, SIDERPERU, etc.

**COSTOS ANUALES PRODUCIDOS POR  
 INUNDACIONES, INCENDIOS, HURACANES-TERRI-  
 MOTOS Y CORROSION EN E.F.U.U. de N.A. \***

CAUSA	INUNDACIONES	INCENDIOS	HURACANES Y TERRI-MOTOS	CORROSION
AÑO	1966-1969	1972	1960	1971
COSTO EN \$ U.S.A.	420 Millones/año	14 Billones/año	460 Millones/año	30 Billones/año

\* Datos obtenidos de "Materials  
 Performance" Vol. 43 Abril 1974.

TABLA N° 1

# LA CORROSION ELEVA LOS COSTOS EN LAS INDUSTRIAS DE CUATRO MANERAS

AUMENTO DE LOS COSTOS DE CAPITAL	AUMENTO DE LOS COSTOS DE OPERACION	AUMENTO DE LOS COSTOS DE MANTEN.	AUMENTO DE LOS GASTOS GENERALES
- SOBRE DIMENSIONAMIENTO	- INEFICIENCIA EN LA PRODUCCION	- REPARACIONES - REEMPLAZO DE PIEZAS Y EQUIPOS CORROIDOS	POR CONCEPTO DE :
- MAYOR STOCK DE EQUI- POS Y ACCESORIOS DE DE REPUESTO EN ALMACEN	- INEFICIENCIA DE LOS EQUIPOS - PERDIDA DE MATERIAL		- INGENIEROS ESPE - CIALISTAS EN EL CAMPO DE LA CORROSION
- ADQUISICION DE EQUIPOS MAS COSTOSOS	- MEDIDAS PARA LA PRE- VENCIÓN DE LA CORRO- SION (PROTECC. CÁTODICA, ANODOS, CONTROL Y CHEQUEO DE LA CORROCC).		INVEST. EN EL CAMPO DE LA CORROSION

**EL PROBLEMA DE LA CORROSION  
ES BASICAMENTE UN PROBLEMA DE ECONOMIA**

**PORCENTAJE DE LOS DIVERSOS TIPOS DE CORROSION  
EN 313 CASOS DE FALLAS OCURRIDAS EN LA INDUSTRIA \***

<b>TIPO DE CORROSION</b>	<b>PORCENTAJE</b>
<b>CORROSION UNIFORME</b>	<b>31.6 %</b>
<b>CORROSION GALVANICA</b>	<b>0</b>
<b>CORROSION POR AGRIETAMIENTO</b>	<b>1.8 %</b>
<b>CORROSION POR PICADURA</b>	<b>15.7 %</b>
<b>CORROSION INTERCRISTALINA</b>	<b>11.5 %</b>
<b>CORROSION SELECTIVA</b>	<b>2.4 %</b>
<b>CORROSION - EROSION</b>	<b>9.0 %</b>
<b>CORROSION POR ESFUERZOS</b>	<b>21.6 %</b>
<b>CORROSION POR FATIGA</b>	<b>1.8 %</b>
<b>CORROSION POR ALTA TEMPERATURA</b>	<b>4.6 %</b>

TABLA N° 3

**\* DATOS OBTENIDOS POR : DUPONT DE NEMOURS, DE., U.S.A.  
AÑO 1971**

# CARACTERISTICAS PARA PROTECTORES

PROPIEDADES	METALES FUNDAMENTALES		
	Zn	Mg	Al
1	2	3	4
Potencial standard metales fundamentales [V]	-0,76	-2,38	-1,66
Potencial de Corrosión Relativa de electrodos de ref. Cu/CuSO <sub>4</sub> [V] en hierro en el mar	-0,9-1,1	-1,4-1,6	-0,9-1,2
Rendimiento de corriente Práctico Amp. h. kg <sup>-1</sup>	780-860	1,200-1,200	1,500-1,430
Consumo de Anodos Práctico. Amp. h. año <sup>-1</sup>	1,3	8,1	3,6-5,6

TABLA IV 4

# PROTECCION CATODICA — CONSUMO DE ANODOS

MATERIAL	DENSIDAD DE CORR. PARA ANODO A/m <sup>2</sup>	CONSUMO DE ANODOS Kg. A-1. Año-1
FIERRO Y CHATAARRA	5,5	7-9
Fe SILICOSO 14 % Si	40	0,45 - 0,9
GRAFITO	20	0,9
ALEACION DE Pb-2% Ag	500	0,09
Pt y Ti/Pt	10,000	0,00001
Pb-2% Ag. + Ti/Pt	10,000	0,002
Anodo de magnetita	90	0,0015

TABLA N° 5

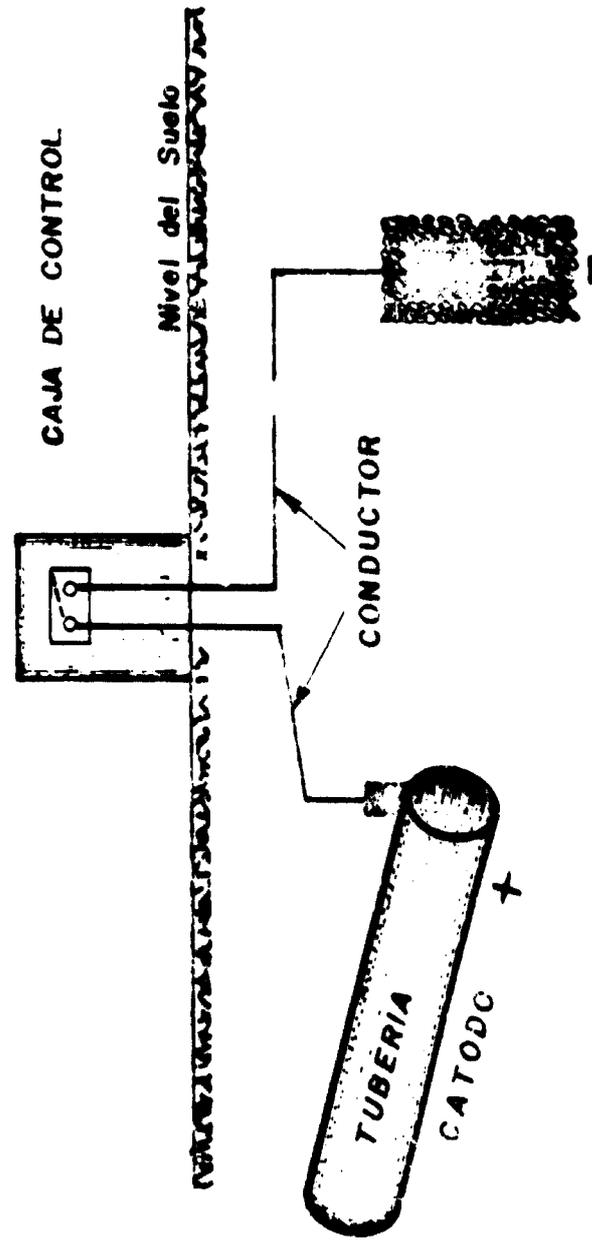
100

## Densidad de corriente para aceros de construcción que trabajan en condiciones ambientales

AMBIENTE	CONSTRUCCION	PROT. DE SUPER.	DENSIDAD DE CORR. mg/m <sup>2</sup>
SUELO	TUBERIAS, CABLES, TANQUES	Protegido con plastico	0.005 - 0.01
		Protegido con asfalto con vidrio	0.03 - 0.1
		Protegido con estallo	0.2 - 10
		No protegido	10 - 50
AGUA DULCE	TUBERIAS, TANQUES, BARCOS, COMPUERTAS	Protegido con buena pintura	0.03 - 0.6
		Protegido con recubrimiento antiguo	0.5 - 5
	PILOTES PARA MUELLES, POZOS, TANQUES	No protegidos	30 - 120
		No protegido	100 - 300
AGUA DE MAR	BARCOS EN EL PUERTO, DIQUES, PORTONOS, TANQUES	Protegido con buena pintura	0.5 - 15
		Protegido con antiguo recubrimiento	10 - 40
	BARCOS EN EL MAR (viaje)	Protegido con buena pintura	3 - 50
		No protegido	100 inicial - 200 30 - 120 (después de viaje)
	Índices de SEGO	No protegido	50 - 200 - 500

TABLA N° 6

# PROTECCION CATODICA CONTRA LA CORROSION



ANODO DE SACRIFICIO

FIGURA N° 1

153

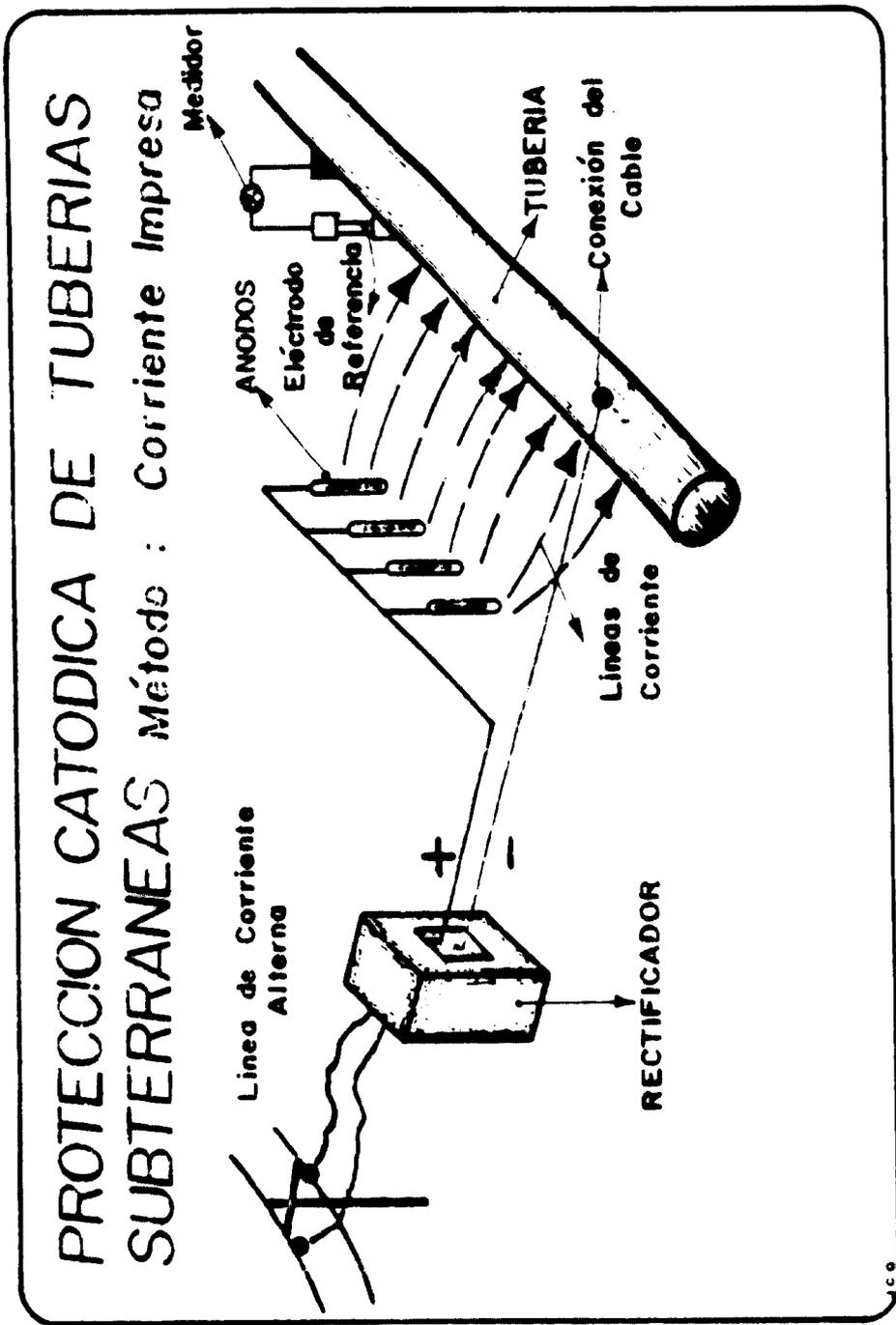


FIGURA N° 2

159

# DIAGRAMAS DE POLARIZACION DE METALES

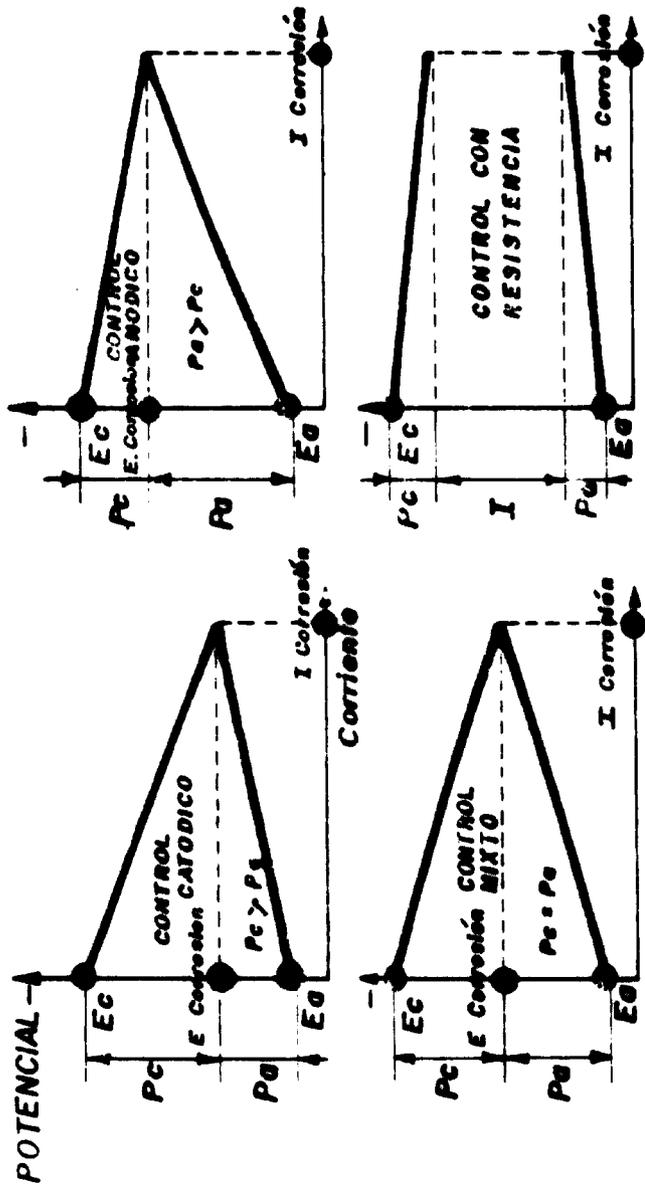


FIGURA N° 3

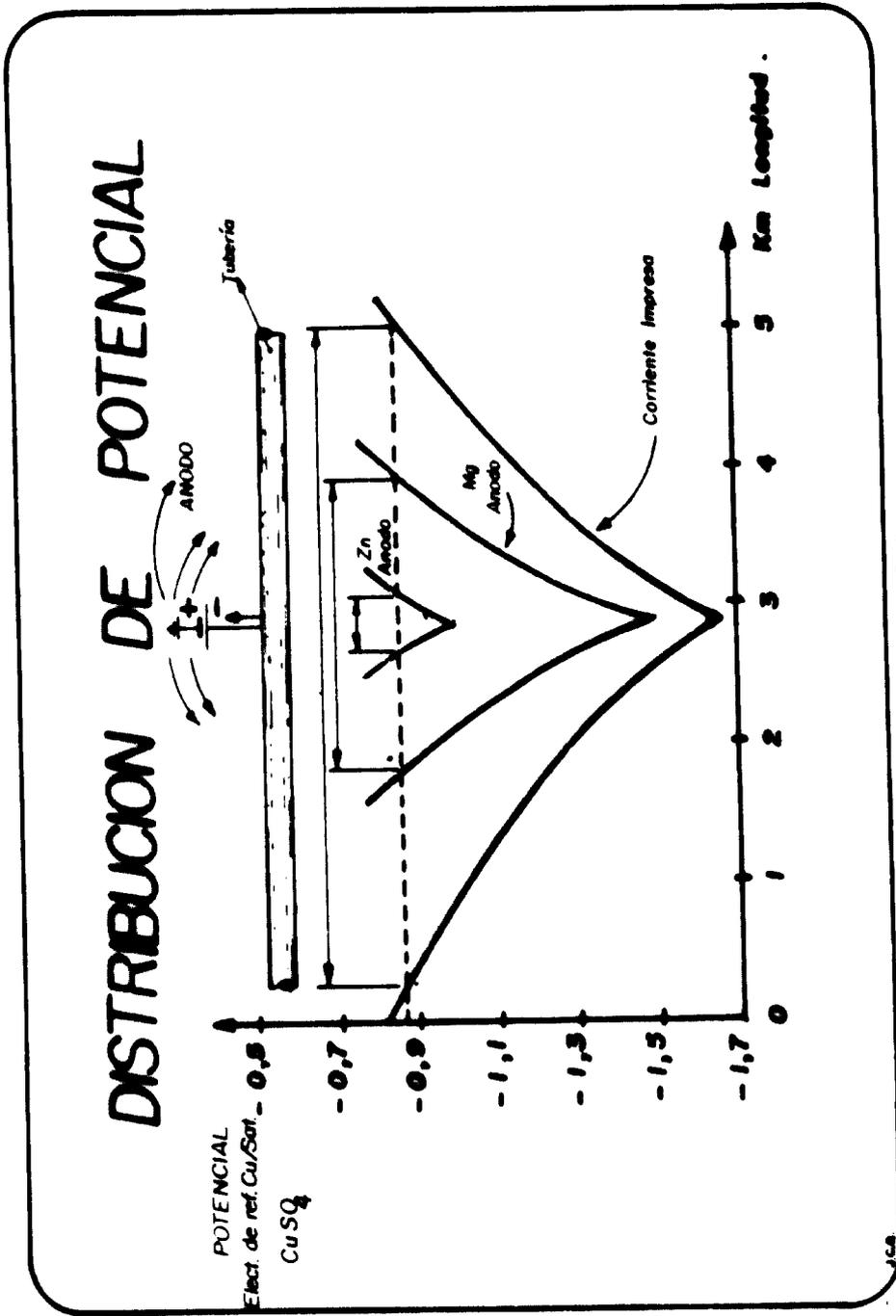


FIGURA N° 4

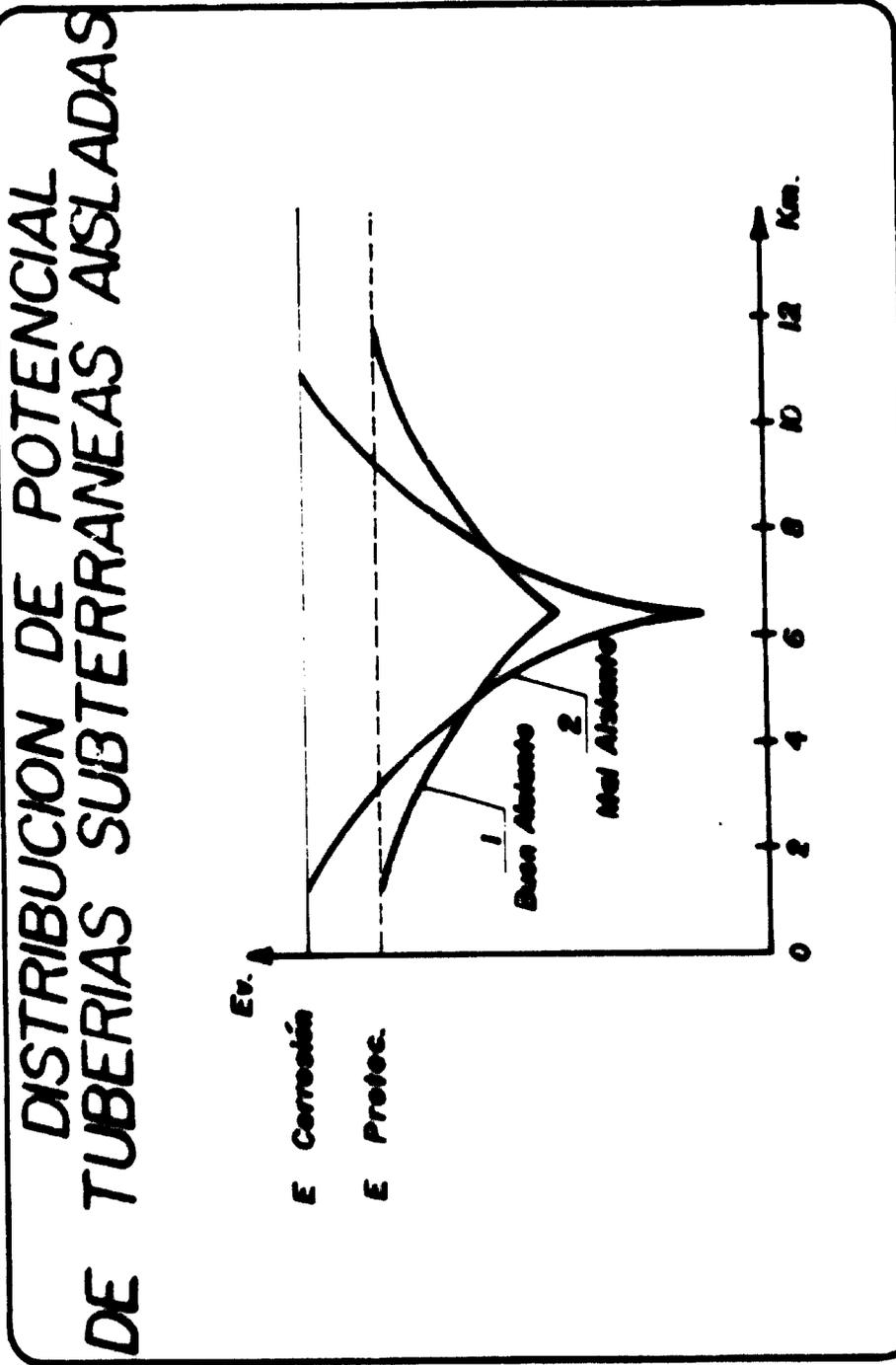
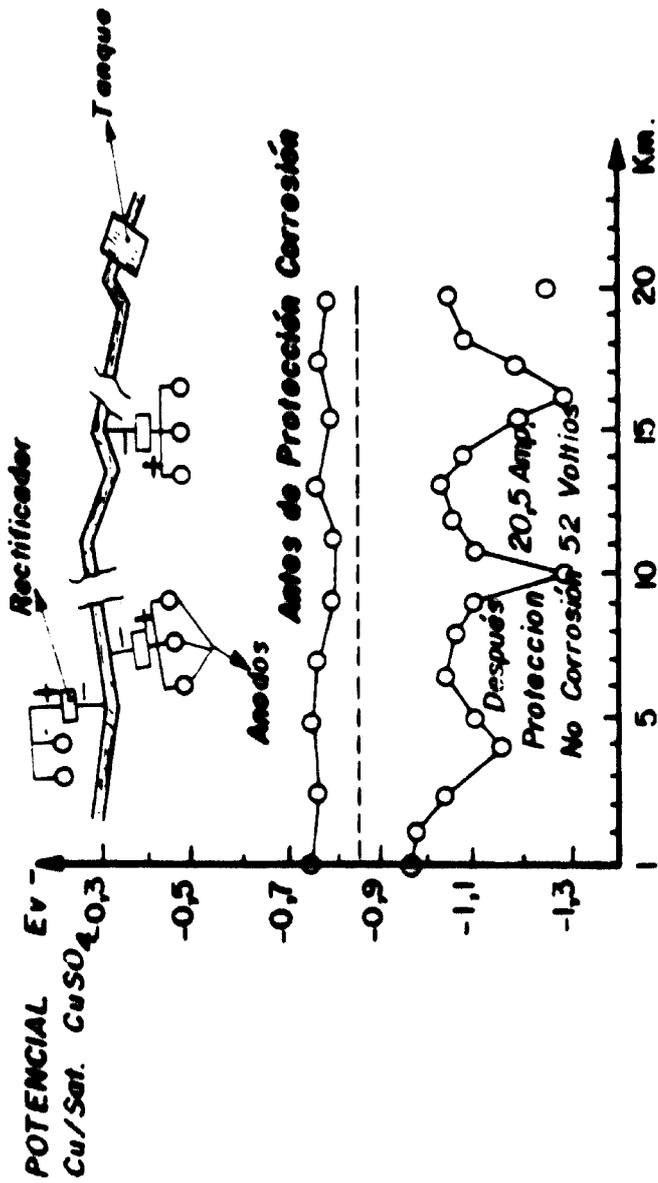


FIGURA N° 5

# PROTECCION CATODICA PARA GRANDES TUBERIAS



J.C.P.

FIGURA N° 6

ESTACION DE PROTECCION CATORICA

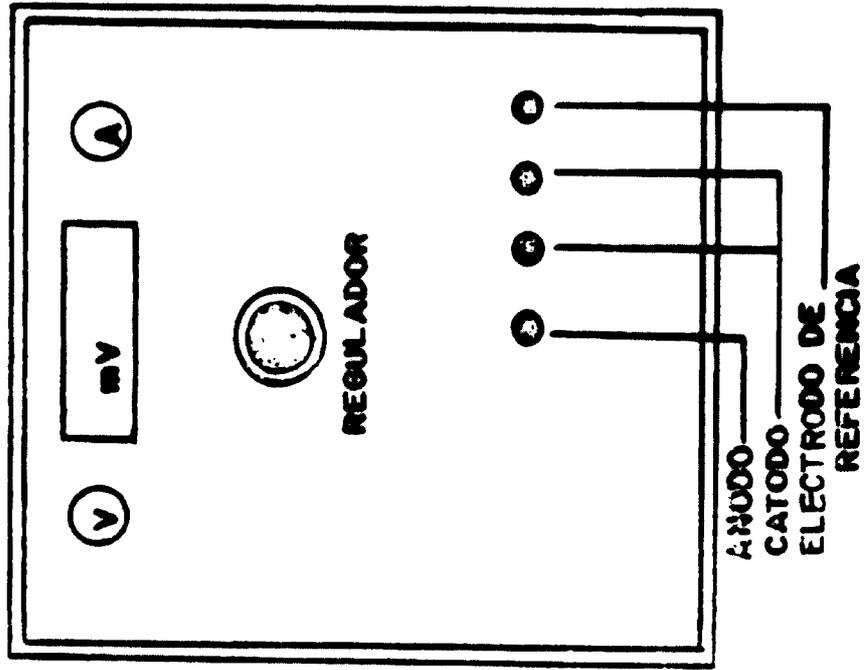


FIGURA N° 7

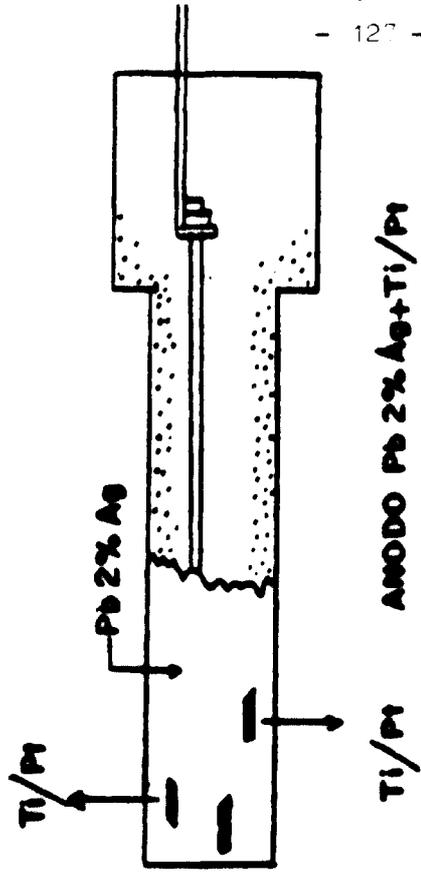


FIGURA N° 8

Apéndice 8

PROTECCION CONTRA LA CORROSION DEL EQUIPO DE ENFRIAMIENTO DE  
PIEZAS SINTERIZADAS DE LA EMPRESA PULVIMETAL S.A.

Para contrarrestar los problemas de corrosión asistentes en el circuito de enfriamiento correspondiente al proceso de sinterizado de piezas metálicas, se considera necesario llevar a cabo las siguientes acciones:

- 1) Realizar la limpieza de todas las paredes metálicas del circuito de enfriamiento, que se encuentren corroídas.
- 2) Efectuar el cambio total del agua del circuito, limpiando convenientemente el tanque de enfriamiento, antes de aplicar la mezcla de inhibidores recomendada.
- 3) Para cada uno de los reboses de la camiseta de enfriamiento, preparar dos ánodos de magnesio (6% Al, 3% Zn, 1% Mn) de dimensiones aproximadas a un cilindro de 4 cm. de diámetro y 6 cm. de longitud. Estos ánodos llevarán conectado un cable eléctrico aislado # 10, de longitud necesaria para realizar la conexión mostrada en el esquema adjunto.
- 4) Soldar platinas de 3/4" x 1/16", dobladas an ángulo recto, - tal como se muestra en el esquema. Estas platinas, deberán llevar en el extremo libre un tornillo que permita la conexión eléctrica del cable del ánodo.

MEZCLA DE INHIBIDORES Y SU APLICACION

Habiendo hecho el cambio del agua de refrigeración, deberá realizarse lo siguiente: (Para 10 m<sup>3</sup> de agua de refrigeración).

- 1) Agregar un kilogramo de óxido de calcio (CaO) de grado técnico previamente disuelto en poca cantidad de agua (10 lt.).
- 2) Disolver 10 Kg. de fosfato ácido disódico (Na<sub>2</sub> HPO<sub>4</sub>) de grado técnico, disuelto previamente en poca cantidad de agua.
- 3) Una vez agregadas las soluciones anteriores, hacer circular el agua de refrigeración por un espacio de 3 horas para conseguir un mezclado uniforme.
- 4) Posteriormente, cada mes, disolver en el agua de refrigeración 100 gr. de fosfato ácido disódico de grado técnico.

Apéndice 9

RECOMENDACIONES SUGERIDAS PARA LA SOLUCION DE PORBLEMAS PRESENTADOS EN LOS  
CONDUCTORES DESNUDOS DE LINEAS AEREAS PARA TRANSMISION ELECTRICA

- 1) Búsqueda bibliográfica sobre materiales de aluminio que se emplean para conductores desnudos de líneas aéreas.
- 2) Búsqueda bibliográfica sobre los principios de la corrosión y métodos de prevención.
- 3) Efectuar análisis químicos y metalográficos en:
  - a) Materias primas
  - b) Conductores no atacados por la corrosión
  - c) Conductores atacados por la corrosión
- 4) Efectuar estudios electroquímicos (el potencial en circuito abierto y características de la polarización en circuito cerrado) en:
  - a) Materias primas
  - b) Conductores no atacados por la corrosión
  - c) Conductores atacados por la corrosión
- 5) Efectuar la búsqueda de la relación entre la estructura metalográfica y las propiedades fisico-químicas para los conductores desnudos de líneas aéreas, atacados y no atacados por la corrosión.
- 6) Efectuar la búsqueda de los parámetros ambientales para los conductores desnudos de líneas aéreas, e influencia sobre las propiedades electroquímicas y la corrosión.
- 7) Determinar la influencia del proceso de soldado en frío sobre las propiedades metalográficas, electroquímicas y la corrosión.
- 8) Eleborar las recomendaciones de protección contra la corrosión:
  - a) La protección permanente con ayuda del proceso de oxidación del aluminio.
  - b) La protección temporal con ayuda de inhibidores.
  - c) Conservación de los conductores desnudos en líneas aéreas, tomando en cuenta las condiciones ambientales.

PROGRAMA DE ESTUDIOS PARA LA ESPECIALIZACION EN CORROSION Y  
PROTECCION DE MATERIALES, A NIVEL DE POST-GRADO

(Número total de horas: 268)

PRIMER SEMESTRE

	<u>Teoría</u> <u>(hr.)</u>	<u>Seminarios</u> <u>(hr.)</u>	<u>Laboratorio</u> <u>(hr.)</u>	<u>Cálculos</u> <u>(hr.)</u>
1. Fundamentos de la Ciencia de la Corrosión	13	-	-	-
2. Corrosión y protección de materiales de construcción I.	20	10	20	-
3. Metalurgia física y ciencia de los materiales	15	-	10	-
4. Protección electroquímica I.	10	-	15	-
5. Recubrimientos de protección I.	15	5	-	-

Número total de horas: 133

SEGUNDO SEMESTRE

1. Corrosión y protección de materiales de construcción II.	15	10	20	-
2. Protección electroquímica II.	-	5	5	10
3. Protección temporal y por inhibidores	10	-	10	-
4. Recubrimientos de protección II.	-	-	10	-
5. Métodos modernos en la prevención de la corrosión en la industria	-	20	-	-
6. Métodos de Investigación - en el campo de la corrosión	5	-	15	-

Número total de horas: 135

PROGRAMA DE ESTUDIOS

1. FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA DE LA CORROSION

Organizaciones en el mundo encargadas de combatir la corrosión.  
Avances en la lucha contra la corrosión.  
Pérdidas ocasionadas por la corrosión.  
Clasificación de los fenómenos de corrosión.  
Corrosión electroquímica de metales.  
Celdas de corrosión.  
Cinética de los procesos en los electrodos.  
Fundamentos de la prevención de la corrosión.  
Influencia de diferentes parámetros sobre la corrosión.  
Principios generales para la prevención de la corrosión.

2. CORROSION Y PREVENCION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION

Corrosión en aceros al carbono, aceros tipo COR-TEN y aceros especiales en diferentes ambientes corrosivos.  
La corrosión en aleaciones de cobre, aluminio, plomo, níquel, titanio y otros metales y aleaciones.  
Influencia del medio ambiente y parámetros mecánicos.  
Corrosión por esfuerzos, por fatiga y corrosión-erosión.  
Pasivación de metales.  
Protección anódica de metales.  
Corrosión de metales en ambientes típicos, tales como la atmósfera, el suelo y el agua.

Corrosión y Diseño.

Recubrimientos preventivos.

Materiales sintéticos que se emplean para combatir la corrosión.

Cementos y concretos, corrosión de los concretos y métodos para prevenirla.

3. METALURGIA FISICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES

Metales y aleaciones.

Aceros al carbono y aceros especiales.

Tratamiento térmico del acero.

Aleaciones importantes de cobre, níquel y aluminio. Titanio y

Zirconio. Cermetales, Fisuras en metales. Fatiga de metales.

Métodos modernos para la investigación de metales y materiales.

4. PROTECCION ELECTROQUIMICA

Potenciales de metales. Diagramas de Pourbaix. Fundamentos -  
teóricos de la protección catódica. Criterios de la protección  
catódica. Método, ánodos de sacrificio: materiales para los -  
protectores, activadores, instalación de los protectores, ejemplos  
de instalaciones, Método, corriente impresa: estaciones de  
la protección catódica, ejemplos de diferentes soluciones técnicas  
por el método de corriente impresa. Corrientes vagabundas,

protección con ayuda de drenajes. Protección anódica: sistema eléctrico, materiales del cátodo, electrodos de referencia, ejemplos de aplicación de la protección anódica. Problemas económicos de la aplicación de la protección electroquímica.

5. RECUBRIMIENTOS DE PROTECCION

Preparación de la superficie para la aplicación de recubrimientos de protección. Recubrimientos orgánicos: resinas fundamentales, pigmentos y pinturas.

Mecanismo de la protección. Métodos y aparatos para la aplicación de recubrimientos orgánicos. Renovación y control. Recubrimientos metálicos: algunos recubrimientos y métodos de aplicación, recubrimientos tipo óxidos y métodos de aplicación y control.

6. PROTECCION POR INHIBIDORES Y TEMPORAL

Mecanismos de acción de los inhibidores. Inhibidores temporales. Inhibidores gaseosos. Inhibidores para recubrimientos orgánicos. Inhibidores de la corrosión en el proceso de decapado. Inhibidores en la industria petroquímica. Inhibidores en sistemas de agua.

7. METODOS MODERNOS EN LA PREVENCION DE LA CORROSION EN LA INDUSTRIA

Prevención contra la corrosión en la industria mediante la aplicación de diversos métodos. Acción conjunta de la protección catódica, recubrimientos e inhibidores. Casos complejos de protección catódica encontradas. Problemas económicos.

8. METODOS DE INVESTIGACION EN EL CAMPO DE LA CORROSION

Métodos electroquímicos de investigación.  
Aparatos e instrumentos.  
Investigaciones micro y macroscópicas.  
Investigación del efecto de la corrosión.  
Aparatos para investigaciones en recubrimientos.

9. PRACTICAS DE LABORATORIO DE CORROSION

En ambos semestres, los estudiantes efectuaron 17 prácticas de laboratorio, incluyendo 3 prácticas de campo. Todas las prácticas se harán con ayuda de aparatos modernos.

Apéndice 11

PLAN DE TRABAJO DEL COMITE DE PROTECCION CATODICA

Después de las visitas efectuadas a empresas industriales en el Perú he podido observar que éstas tienen muchos problemas en corrosión y en la aplicación de Protección Catódica. Asimismo he podido observar que no existe en el Perú cooperación técnica entre las empresas industriales, ni intercambio de información relacionada con la corrosión, trabajando cada una en forma aislada para solucionar este problema.

Por lo que en relación al plan de trabajo en investigación de Protección Catódica considero necesario la formación de un Comité y un Laboratorio.

El Comité de Protección Catódica que se propone formar tendría el siguiente programa de acción:

- 1° Cooperación y coordinación en la actividad de protección catódica en el Perú.
- 2° Divulgación de la información técnica existente en protección catódica.
- 3° Campaña relacionada con la corrosión y la aplicación de protección catódica.
- 4° Preparar una acción para enseñar a alumnos universitarios y de post-grado a combatir la corrosión empleando protección catódica.
- 5° Elaborar un programa común para la coordinación y cooperación en las industrias afines.

El laboratorio para Protección Catódica tendría las siguientes funciones:

- 1° Inspección y control de la protección catódica en instalaciones industriales.
- 2° Desarrollo de la tecnología de uso de diferentes materiales para protección catódica.
- 3° Preparar instrucciones para el servicio de protección catódica en las industrias.
- 4° Trabajar en la investigación de nuevos métodos de aplicación de protección catódica.
- 5° Poseer equipos e instrumentos, libros y revistas, normas, materiales, etc., para realizar el programa de acción propuesto.

Estas dos acciones son necesarias para tener toda la información para combatir la corrosión en la industria. Es necesario controlar el proceso de corrosión a fin de proteger los equipos e instalaciones industriales. Es fundamental no esperar que la corrosión afecte sino controlarla y combatirla.

Adjunto al presente una lista de equipos y materiales necesarios para la formación del laboratorio.

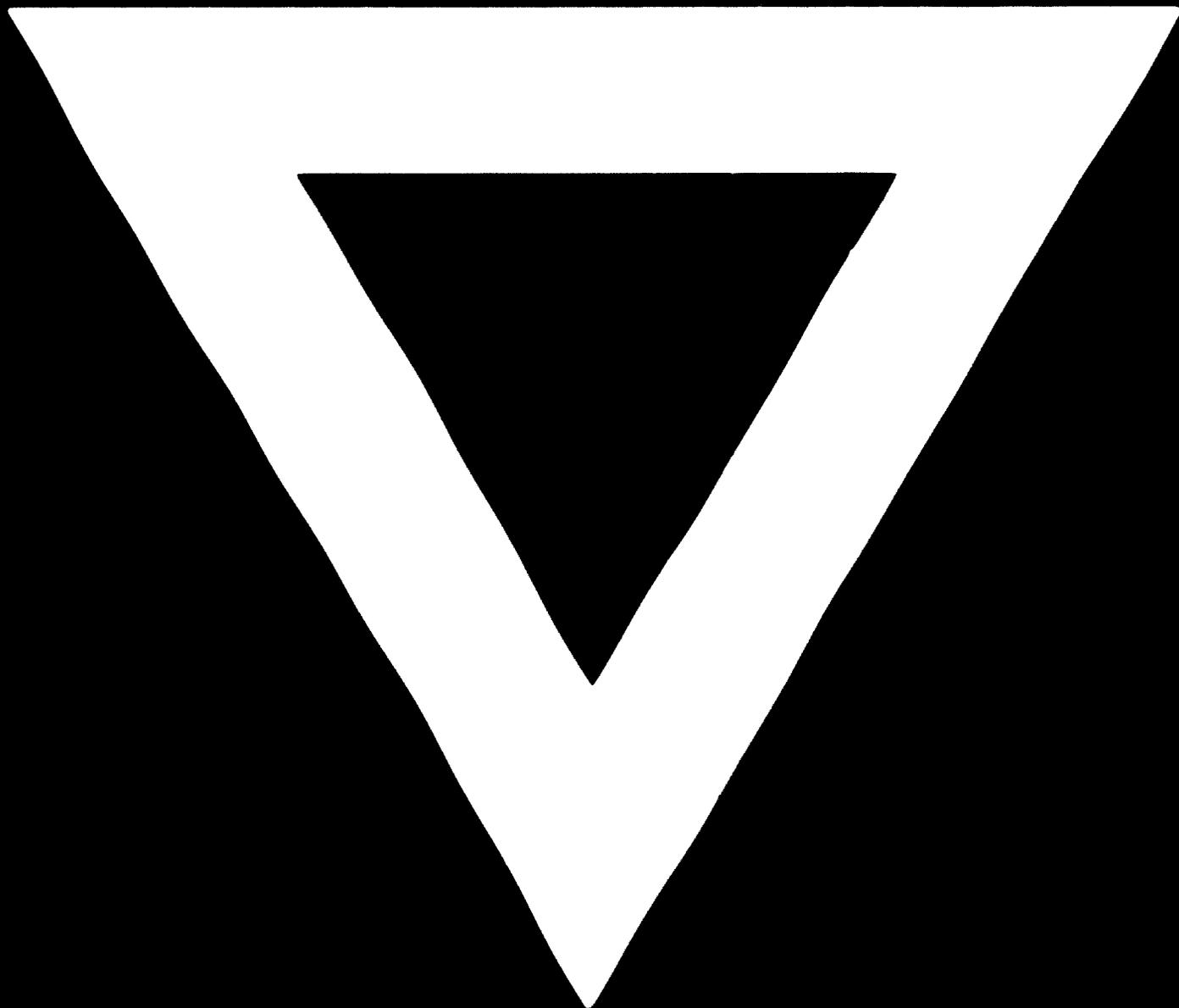
PRACTICAS DE LABORATORIO DE CORROSION

- 1° Ensayos metalográficos
- 2° Cinética del proceso de corrosión
- 3° Celda de corrosión (2 electrodos)
- 4° Celda de corrosión (multielectrodos)
- 5° Pasivación de metales
- 6° Corrosión localizada de acero inoxidable
- 7° Corrosión intercrystalina de acero inoxidable
- 8° Inhibidor en soluciones acuosas para combatir la corrosión
- 9° Pinturas y recubrimiento con pinturas
- 10° Método Electroforético para recubrimientos con pintura
- 11° Método de Fluidización para recubrimientos plásticos
- 12° Recubrimientos galvánicos
- 13° Protección Catódica: Método de corriente impresa
- 14° Protección Catódica: Método de ánodo de sacrificio
- 15° Protección catódica: Para tuberías sumergidas en ríos
- 16° Protección Catódica: Para tanques de gran tamaño
- 17° Protección anódica.



We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche

**C-34**



**79.11.30**